Environnement Canada
Service de la protection de l'environnement

Environment Canada
Environmental Protection Service

collection
ENVIROGUIDE

LE CYCLOHEXANE

Canada

juin 1985

86-03108/

COLLECTION «ENVIROGUIDE»

La collection «Enviroguide» est constituée de guides d'information technique à utiliser en cas de déversements de matières dangereuses. Chaque guide fournit une masse considérable d'information relative au produit chimique dont il traite. L'information ainsi présentée a pour but d'aider l'utilisateur à mettre sur pied un plan d'intervention en cas d'accident et à évaluer les incidences sur l'environnement que peut avoir tel ou tel polluant. Le contenu de chacun des guides a été vérifié par la Direction des services techniques du Service de la protection de l'environnement avant que ne soit autorisée sa publication. Il est à noter qu'une telle autorisation n'implique pas que le contenu des guides reflète les points de vue ou la politique du Service de la protection de l'environnement. De même, le fait de mentionner des marques déposées ou des noms de produits commerciaux ne doit pas être interprété comme une forme de recommandation.

collection
ENVIROGUIDE

LE CYCLOHEXANE

SERVICE DE LA PROTECTION
DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION GÉNÉRALE DES PROGRAMMES
DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION DES SERVICES TECHNIQUES

OTTAWA
JUIN 1985
ENVIRONNEMENT CANADA

Publication
distribuée par la Section des publications
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 1C8

Édition française de
Cyclohexane
préparée par le Module d'édition française

English copy available at the above mentioned address

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1985
N° de cat. En 48-10/46-1985F
ISBN 0-662-93592-6
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

AVANT-PROPOS

La collection "Enviroguide" a été lancée officiellement en 1983. Elle est constituée de guides d'information technique sur les produits chimiques qui sont les plus souvent en cause dans les cas de déversements accidentels. Les guides, qui s'adressent à des spécialistes dans le domaine des déversements, sont conçus pour aider à planifier les interventions d'urgence et évaluer les incidences sur l'environnement.

Vu la grande quantité d'information présentée et le caractère très technique des guides, ces derniers ne s'adressent pas au personnel de première intervention, pour qui existent déjà des manuels plus appropriés.

L'information offerte a été glanée en majeure partie dans des publications déjà existantes. Les auteurs ont pris grand soin, aussi bien au stade de la compilation qu'à celui de la révision, de vérifier la justesse des éléments retenus. Néanmoins, il ne faut pas voir dans la publication de ces éléments d'information une forme de recommandation de la part du gouvernement du Canada ni de quelque autre groupe.

REMERCIEMENTS

La version définitive du présent guide est l'oeuvre du personnel du Service de la protection de l'environnement, qui a procédé à la refonte de nombreux passages du texte initial, ajouté maints renseignements et commentaires et préparé les schémas et les figures.

Le travail préliminaire avait été donné à contrat par Environnement Canada aux firmes M.M. Dillon Consulting Engineers and Planners, Concord Scientific Corporation et Waterloo Engineering Limited.

L'abondance de détails qu'on trouve dans le guide est le fruit de la collaboration de plusieurs personnes, organismes et institutions qui ont fourni des données et des conseils précieux, au stade de la compilation comme au stade de la rédaction. Sous ce rapport, l'Association canadienne des fabricants de produits chimiques mérite des remerciements particuliers.

TABLE DES MATIÈRES

	Avant-propos	III
	Remerciements	III
	Liste des figures	VII
	Liste des tableaux	VII
	Abréviations et symboles	VIII
	Définitions	X
	Sigles	XI
1	**Résumé**	1
2	**Propriétés physiques et chimiques**	4
3	**Production, transport et commerce**	11
3.1	Qualités et teneurs	11
3.2	Fabricant situé au Canada	11
3.3	Autres fournisseurs	11
3.4	Centres de production et transport	11
3.5	Volume de production	11
3.6	Fabrication industrielle	12
3.6.1	Information générale	12
3.6.2	Procédés de fabrication	12
3.6.2.1	Hydrogénation catalytique du benzène	12
3.6.2.2	Distillation fractionnée du naphte	12
3.7	Principales utilisations au Canada	13
3.8	Principal acheteur au Canada	13
4	**Manutention du produit et compatibilité**	14
4.1	Citernes et autres récipients d'expédition	14
4.1.1	Transport en vrac	14
4.1.1.1	Wagons-citernes	14
4.1.1.2	Véhicules-citernes	16
4.1.2	Transport en fûts	16
4.2	Déchargement	16
4.2.1	Équipement et opérations de déchargement des wagons-citernes	16
4.2.2	Spécifications et matériaux de fabrication de l'équipement de déchargement	17
4.3	Compatibilité entre le produit et certains matériaux	20
5	**Fuite et migration du produit**	22
5.1	Aperçu général	22
5.2	Fuite du produit	22
5.2.1	Introduction	22
5.2.2	Nomogrammes de la fuite	23
5.2.2.1	Pourcentage de liquide restant en fonction du temps écoulé	23
5.2.2.2	Débit de fuite en fonction du temps écoulé	23
5.2.3	Exemples de calcul	23
5.3	Diffusion dans l'atmosphère	25
5.3.1	Introduction	25
5.3.2	Nomogrammes de la diffusion du panache de vapeurs	25
5.3.2.1	Débit d'émission des vapeurs en fonction du rayon de la nappe et de la température	25
5.3.2.2	Teneur en vapeurs en fonction de la distance sous le vent	30

5.3.2.3	Demi-largeur maximale du panache dangereux	30
5.3.2.4	Distance parcourue par le panache en fonction du temps écoulé	34
5.3.3	Étapes du calcul	34
5.4	Comportement dans l'eau	38
5.4.1	Introduction	38
5.4.2	Nomogramme d'étalement du polluant à la surface d'un plan d'eau	38
5.4.3	Exemple de calcul	38
5.5	Comportement dans le sol de surface et dans le sous-sol	40
5.5.1	Introduction	40
5.5.2	Migration du polluant dans un sol à capacité au champ	41
5.5.3	Coefficient de perméabilité d'un sol saturé vis-à-vis du polluant	41
5.5.4	Types de sol	41
5.5.5	Nomogrammes de la migration	43
5.5.6	Exemple de calcul	43
6	**Protection de l'environnement**	48
6.1	Limites maximales admissibles	48
6.1.1	Qualité de l'eau	48
6.1.2	Qualité de l'air	48
6.2	Toxicité pour les espèces aquatiques	48
6.2.1	Évaluation de la toxicité aux USA	48
6.2.2	Mesures de la toxicité	48
6.3	Toxicité pour les mammifères	49
6.4	Toxicité pour d'autres espèces	50
6.5	Dégradation du polluant	50
6.6	Devenir et effets à long terme	50
7	**Protection de la santé**	51
7.1	Normes d'exposition	51
7.2	Données sur l'action irritante	52
7.2.1	Contact avec la peau	52
7.2.2	Contact avec les yeux	52
7.3	Données sur les propriétés organoleptiques	52
7.3.1	Odeur	52
7.3.2	Saveur	53
7.4	Études sur les effets toxiques	53
7.4.1	Inhalation	53
7.4.2	Ingestion	53
7.4.3	Administration par voie intraveineuse	54
7.4.4	Mutagénicité, tératogénicité et carcinogénicité	54
7.5	Symptômes et conséquences de l'intoxication	54
7.5.1	Inhalation	54
7.5.2	Ingestion	55
7.5.3	Contact avec la peau	55
7.5.4	Contact avec les yeux	55
8	**Compatibilité chimique**	56
8.1	Compatibilité entre le cyclohexane et divers agents	56
9	**Mesures d'intervention et de sécurité**	57
9.1	Mesures recommandées	57
9.1.1	Danger d'incendie	57
9.1.2	Moyens d'extinction	57
9.1.3	Mesures d'intervention en cas de déversement	57
9.1.3.1	Information générale	57

9.1.3.2	Déversement sur le sol	57
9.1.3.3	Déversement dans l'eau	58
9.1.4	Nettoyage et traitement	58
9.1.4.1	Déversement dans l'eau	58
9.1.4.2	Information générale	58
9.1.5	Élimination du polluant	58
9.1.6	Appareils et vêtements de protection	58
9.1.7	Entreposage	59
10	**Cas de déversement accidentel**	60
10.1	Information générale	60
11	**Identification et dosage du polluant**	61
11.1	Dosage du polluant présent dans l'air	61
11.1.1	Chromatographie en phase gazeuse	61
11.2	Identification du polluant présent dans l'air	62
11.3	Dosage du polluant présent dans l'eau	62
11.3.1	Spectrophotométrie à l'infrarouge	62
11.4	Identification du polluant présent dans l'eau	62
11.5	Dosage du polluant présent dans le sol	62
11.5.1	Spectrophotométrie à l'infrarouge	62
11.6	Identification du polluant présent dans le sol	63
12	**Références et bibliographie**	64
12.1	Références	64
12.2	Bibliographie	68

LISTE DES FIGURES

1	Tension de vapeur en fonction de la température	8
2	Tension superficielle du liquide avec l'air	8
3	Masse volumique du liquide en fonction de la température	9
4	Viscosité du liquide en fonction de la température	9
5	Diagramme de phases	10
6	Wagon-citerne de spécification 111A60W1	18
7	Fûts types	19
8	Orifice au-dessous du niveau du liquide	23
9	Pourcentage de liquide restant en fonction du temps écoulé	24
10	Débit de fuite en fonction du temps écoulé	24
11	Formation d'un panache de vapeurs	26
12	Étapes à suivre pour déterminer la zone dangereuse	27
13	Débit d'émission des vapeurs à différentes températures en fonction du rayon de la nappe	29
14	Teneur uniformisée en vapeurs en fonction de la distance sous le vent	31
15	Conversion en g/m^3 TLV®	32
16	Conversion en g/m^3 du pourcentage volumique de la limite inférieure d'inflammabilité	33
17	Distance parcourue par le panache en fonction du temps écoulé	36
18	Zone dangereuse maximale sous un vent invariable	39
19	Zone dangereuse maximale sous un vent variable	39
20	Rayon maximal de la nappe en fonction de la masse déversé	40
21	Migration dans le sous-sol	42
22	Plan d'utilisation des nomogrammes	44
23	Migration dans un sable grossier	45
24	Migration dans un sable limoneux	46
25	Migration dans un till argileux	47

LISTE DES TABLEAUX

1	Nomogrammes de conversion	7
2	Spécifications CCT/DOT s'appliquant aux wagons-citernes utilisés pour le cyclohexane	14
3	Caractéristiques des wagons-citernes de spécification 111A60W1 utilisés pour le cyclohexane	15
4	Caractéristiques des fûts utilisés pour le transport du cyclohexane	17
5	Compatibilité entre le cyclohexane et certains matériaux de fabrication	21
6	Catégories météorologiques (de stabilité)	28
7	Demi-largeur maximale du panache dangereux de vapeurs de cyclohexane	35

ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES

adf	Antidéflagrant
atm	Atmosphère
B	Périmètre mouillé
c.f.	Coupelle fermée
c.o.	Coupelle ouverte
CPG	Chromatographie en phase gazeuse
d	Densité
d vap	Densité de vapeur
d.-v.	Demi-vie
D ext.	Diamètre extérieur
D int.	Diamètre intérieur
DAMM	Diamètre aérodynamique moyen en masse
DBO	Demande biochimique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
D_e	Diamètre d'entrée
DIF	Détecteur d'ionisation à flamme
DMM	Diamètre moyen en masse
DMN	Diamètre moyen en nombre
DMV	Diamètre moyen en volume
DPI	Détecteur à photo-ionisation
D_s	Diamètre de sortie
DL min.*	Dose létale minimale
DL 50*	Dose létale moyenne
DT min.	Dose toxique minimale
et coll.	Et collaborateurs
eV	Électronvolt
f. n. éq.	Fumée normalisée équivalente
gal imp.	Gallon impérial
h	Hauteur
IDLH*	*Immediately Dangerous to Life or Health*
IR	Infrarouge
j	Jour
J	Joule
K	Coefficient de perméabilité
K_0	Coefficient de perméabilité d'un sol saturé
k	Coefficient de perméabilité intrinsèque
l	Litre
L.I.E.	Limite inférieure d'explosibilité
L.I.I.	Limite inférieure d'inflammabilité
L.S.E.	Limite supérieure d'explosibilité
L.S.I.	Limite supérieure d'inflammabilité
m	Masse
M	Molaire
MAK*	Teneur maximale admissible
MAK-D*	Teneur maximale admissible
MAK-K*	Teneur maximale admissible - courte durée
max.	Maximum
mé/l	Milliéquivalent par litre
MIK*	Teneur maximale d'immission
min.	Minimum
mn	Minute
M mol.	Masse moléculaire
M vol.	Masse volumique
mol	Mole
MPT	Moyenne pondérée en fonction du temps
N	Newton
N	Normal
Pa . s	Pascal seconde
pds éq.	Poids équivalent
ppb	Parties par milliard (10^{-9})
ppm	Parties par million (10^{-6})
ppt	Parties par mille (10^{-3})
psi	*Pounds per square inch*
P	Pression
P_c	Pression critique
PEL*	*Permissible Exposure Limit*
Po	Poise
Pt cong.	Point de congélation
Pt déf.	Point de déflagration
Pt dét.	Point de détonation
Pt ébul.	Point d'ébullition
Pt écl.	Point d'éclair
Pt écoul.	Point d'écoulement
Pt fus.	Point de fusion
Pt liq.	Point de liquéfaction
PVC	Chlorure de polyvinyle
q	Débit
q_e	Débit d'entrée
q_f	Débit de fuite
q_m	Débit-masse
q_s	Débit de sortie
q_v	Débit-volume
std	Standard
SM	Spectroscopie de masse
St	Stokes
STEL*	*Short Term Exposure Limit*
t	Tonne
t	Temps
temp.	Température
$temp._a$	Température ambiante
$temp._c$	Température critique
TE 50*	Teneur efficace moyenne
tf	Tonne forte
TI 50*	Teneur inhibitrice moyenne
TLm*	Tolérance moyenne
TL min.*	Teneur létale minimale

TL 50*	Teneur létale moyenne
TLV®*	*Threshold Limit Value*
TLV® -C*	*Threshold Limit Value-Ceiling*
TPN	Température et pression normales
TT min.*	Teneur toxique minimale
u	Vitesse du vent
μ	Viscosité
vap	Vapeur
V	Vitesse d'écoulement
V biod.	Vitesse de biodégradation
V évap.	Vitesse d'évaporation
vol.	Volume
°Bé	Degré Baumé
°C	Degré Celsius
ϕ	Diamètre
x	Distance sous le vent
⚒	Ne pas utiliser d'eau comme moyen d'extinction

* Notions expliquées dans la section Définitions.

DÉFINITIONS

Les définitions figurant ci-dessous valent pour la collection "Enviroguide". Le lecteur notera qu'elles n'ont pas toujours une portée générale. Pour plus de détails, ou pour d'autres définitions, se reporter au manuel d'introduction de la collection.

Bio-accumulation. - Rétention sans cesse croissante d'une substance dans les tissus d'un organisme tout au long de son existence (le facteur de bioconcentration augmentant sans cesse).

Bio-amplification. - Rétention d'une substance dans les tissus à des teneurs de plus en plus élevées au fur et à mesure que l'on s'élève dans la hiérarchie des organismes de la chaîne alimentaire.

Bioconcentration. - Rétention d'une substance dans les tissus d'un organisme au point que la teneur des tissus en cette substance surpasse la teneur du milieu ambiant en cette substance, à un moment donné de la vie de cet organisme.

Concentration. - Comme ce mot a des sens multiples et parfois mal définis selon qu'il s'agit de chimie, de biologie ou d'écologie, on lui a préféré des termes jugés plus précis, tels titre, teneur et bioconcentration.

Contaminant. - Polluant qui figure sur une liste de produits dangereux, établie en vertu de la Loi sur les contaminants de l'environnement.

Dose létale minimale. - Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la dose définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible dose (autre que la DL 50) d'une substance dont l'absorption, excluant l'inhalation, en une ou plusieurs prises, au bout d'un temps donné, a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. DL min.

Dose létale moyenne (1). - Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la dose qui tue, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. DL 50.

Dose létale moyenne (2). - À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la dose (calculée) d'une substance censée entraîner, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'absorption, excluant l'inhalation, d'une quantité de cette substance par un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. DL 50.

Dose toxique minimale. - La plus faible dose d'une substance, introduite par toute autre voie que l'inhalation, pendant quelque période de temps que ce soit, dont l'absorption a été signalée comme cause d'effet toxique chez des personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. DT min.

Facteur de bioconcentration. - Rapport de la teneur en une substance des tissus d'un organisme exposé (moins la teneur d'un organisme témoin) à la teneur en cette substance du milieu ambiant.

IDLH *(Immediately Dangerous to Life or Health).* - Teneur plafond à laquelle, dans un délai maximal d'exposition de 30 minutes, il est possible à une personne de fuir les lieux exposés sans qu'il n'y ait manifestation de signes fonctionnels d'intoxication, perturbation irréversible de la santé ou décès. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Immission. - Transfert d'un polluant de l'atmosphère vers un "récepteur" qui peut être une personne, un animal, une plante. La teneur maximale d'immission, mentionnée au chapitre 7, se rapporte au polluant retenu dans les poumons. Il s'agit d'un concept d'origine allemande, adopté par l'ISO.

Létal. - En toxicologie, synonyme de mortel.

MAK *(Maximale Arbeidsplatz Konzentration).* - Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RFA.

MAK-D. - Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

MAK-K. - Teneur limite admissible en milieu de travail pour une période très courte ne dépassant pas 30 minutes. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

PEL *(Permissible Exposure Limit).* - Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle peuvent être exposés des travailleurs pendant une période de relève. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Polluant. - Agent physique, chimique ou biologique qui provoque une dégradation dans un milieu donné.

STEL (**TLV** - *Short Term Exposure Limit).* - Teneur limite à laquelle les travailleurs peuvent être exposés de façon continue pour une courte période sans souffrir d'irritation, de dommage irréversible aux tissus ou d'une narcose suffisamment grave pour accroître la probabilité de blessure par accident, diminuer la capacité de fuir ou réduire physiquement l'efficacité au travail, en prenant pour acquis que la TLV quotidienne n'a pas été dépassée. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

Teneur. - Quantité de matière solide, liquide ou gazeuse, rapportée à une masse ou à un volume d'autres matières dans lesquelles elle est en mélange, suspension ou dissolution.

Teneur efficace moyenne. - Dans le cas de la toxicité pour la micro-faune, il s'agit de la teneur à laquelle se produit, chez 50 p. 100 de la population, pour une durée d'exposition donnée, un effet tel que l'immobilisation, la perte de l'équilibre, une déficience de croissance ou même la mort. Abrév. TE 50.

Teneur inhibitrice moyenne. - Dans le cas de la toxicité pour la micro-flore ou la micro-faune, il s'agit de la toxicité qui inhibe à 50 p. 100 une activité biologique (par exemple, la croissance) en un temps déterminé. Abrév. TI 50.

Teneur létale minimale. - Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la teneur définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible teneur (autre que la TL 50) de l'air en une substance dont l'inhalation a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. TL min.

Teneur létale moyenne (1). - Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la teneur à laquelle meurent, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. TL 50.

Teneur létale moyenne (2). - À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la teneur (calculée) de l'air en une substance dont l'inhalation est censée provoquer, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'exposition d'un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. TL 50.

Teneur plafond. - Teneur maximale admissible établie pour une durée d'exposition bien déterminée, dans le cas d'une substance très toxique. (L'IDLH et la TLV® -C sont des teneurs plafonds.)

Teneur toxique minimale. - La plus faible teneur de l'air en une substance à laquelle des personnes ou des animaux ont été exposés, pour quelque période de temps que ce soit, sans qu'il ait eu d'effet toxique chez les personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. TT min.

Titre (d'une solution, en chimie). - Rapport de la masse d'une substance dissoute

à la masse totale ou du nombre de moles d'un constituant au nombre total de moles.

TLV® *(Threshold Limit Value).* - T eur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle la majorité des travailleurs peuvent être exposés régulièrement à raison de 8 heures par jour, 5 jours par semaine, sans subir d'effet nocif. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

TLV® -C *(Threshold Limit Value-Ceiling).* - Teneur limite admissible pour un moment donné. Il s'agit d'une valeur plafond définie et déterminée par l'ACGIH.

Tolérance moyenne. - Niveau de tolérance correspondant à la teneur à laquelle 50 p. 100 des sujets d'un test survivent au bout d'un temps donné. Abrév. TLm.

SIGLES

ACGIH	American Conference of Government Industrial Hygienists
ANSI	American National Standards Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWQC	Ambient Water Quality Criteria (USA)
AWWA	American Water Works Association
CBG	Chemical Buyer's Guide (USA)
CCD	Condensed Chemical Dictionary (USA)
CCPA	Canadian Chemical Producers Association
CCT	Commission canadienne des transports
CHRIS	Chemical Hazards Response Information System (USA)
DOT	Department of Transportation (USA)
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
ITII	International Technical Information Institute (Japon)
MCA	Manufacturing Chemists Association (USA)
MDT	Ministère des Transports (du Canada)
NACE	National Association of Corrosion Engineers (USA)
NAS	National Academy of Sciences (USA)
NFPA	National Fire Protection Association (USA)
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health
NRC	National Research Council (USA)
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (USA)
STCC	Standard Transportation Commodity Code (Amérique du Nord)

1 RÉSUMÉ

Cyclohexane (C_6H_{12})

Liquide incolore, à odeur aromatique (d'essence de rose et de chloroforme).

Synonymes

Hexahydrobenzène, hexaméthylène, hexanaphtène (syn. anglais: *cyclohexane*).

Numéros d'identification

UN1145; CAS 110-82-7; OHM-TADS 7216659; STCC 4908132.

Qualités et teneurs

Qualité commerciale: 99,9 p. 100.

Qualité solvant: 85 p. 100.

Dangers immédiats

Incendie. - Hautement inflammable. Un retour de flammes le long du panache de vapeurs est possible.

Effet sur l'homme. - Faiblement toxique en cas d'inhalation ou d'ingestion.

Effet sur l'environnement. - Nocif pour la vie aquatique à des teneurs faibles, et à des teneurs plus élevées pour la vie animale.

Données relatives aux propriétés physiques

État à 15 °C, 1 atm	Liquide
Point d'ébullition	80,7 °C
Point de fusion	6,6 °C
Inflammabilité	Inflammable
Point d'éclair	-20 °C (c.f.)
Tension de vapeur	16,2 kPa à 30 °C
Masse volumique	0,7785 g/ml (20 °C)
Miscibilité à l'eau	Miscible
Comportement dans l'eau	Flotte sans réagir
Comportement dans l'air	Les vapeurs peuvent former un mélange explosif dans l'air.
Plage des teneurs perceptibles par l'appareil olfactif	25 à 370 ppm

Dangers pour l'environnement

Le cyclohexane est toxique pour la vie aquatique en teneurs de moins de 50 mg/l généralement, tandis que son niveau de toxicité aiguë se situe à plus de 2500 mg/kg de poids du

corps dans le cas des animaux. Les nappes de cyclohexane constituent également une menace pour les oiseaux aquatiques. Le produit ne présente cependant aucun danger de bio-accumulation ou de bio-amplification.

Dangers pour l'homme

Teneur maximale admissible (TLV®) établie par l'ACGIH: 300 ppm (1050 mg/m^3).

Teneur immédiatement dangereuse pour la vie ou la santé (IDLH) établie par le NIOSH: 10 000 ppm.

Effets en cas d'inhalation. - Irritation des muqueuses, maux de tête, nausées, vomissements, étourdissements, évanouissement, convulsions et insuffisance respiratoire; peut entraîner la mort.

Effets en cas de contact. - Irritation de la peau et des yeux; un contact prolongé peut causer une dermatite.

Effets en cas d'ingestion. - Étourdissements, nausées et vomissements; évanouissement possible.

Dispositions immédiates à prendre

● En cas de déversement

Interdire l'accès au lieu du déversement. Signaler: "Produit inflammable". Appeler le service d'incendie et avertir le fabricant. Éliminer les sources d'inflammation, y compris celles qui proviennent de la circulation automobile et du matériel. Arrêter l'écoulement et confiner le liquide déversé si cela ne présente aucun danger. Éviter tout contact avec le liquide ou les vapeurs. Rester en amont du sinistre par rapport au vent. Empêcher toute eau polluée d'atteindre un égout ou un cours d'eau.

● En cas d'incendie

Utiliser de la mousse anti-alcool, de la poudre sèche ou de la neige carbonique pour éteindre les flammes. L'eau risquerait d'accentuer l'étalement du produit. Refroidir les récipients exposés aux flammes avec de l'eau pulvérisée. Ne pas s'approcher des fonds des réservoirs car ceux-ci peuvent exploser sous l'action de la chaleur.

Mesures d'intervention d'urgence

● Cyclohexane répandu sur le sol

Construire des barrages pour confiner le produit déversé ou le diriger vers une zone de rétention imperméable. Enlever le produit à l'aide de pompes ou d'un appareil aspirateur. Absorber les petites quantités déversées avec un sorbant synthétique ou naturel et mettre dans des récipients munis d'un couvercle.

● Cyclohexane déversé dans l'eau

Confiner le produit déversé à l'aide de barrages, de déversoirs ou de barrières naturelles.

Enlever la nappe à l'aide d'appareils d'écrémage ou de tuyaux d'aspiration. On peut également absorber le produit au moyen de sorbants.

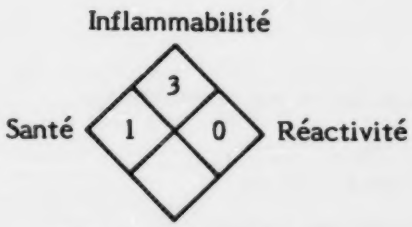
- Cyclohexane émis dans l'atmosphère

Employer un jet d'eau pulvérisée pour arrêter l'émission de vapeurs et disperser ces dernières. Recueillir l'eau de ruissellement pour épuration ou élimination ultérieures.

Niveau de gravité du risque selon la NAS

Incendie	3
Santé	
Irritation causée par les vapeurs	1
Irritation causée par le produit à l'état liquide ou solide	1
Intoxications	2
Pollution de l'eau	
Toxicité pour l'homme	1
Toxicité pour la vie aquatique	2
Atteinte à l'esthétique de l'environnement	2
Réactivité	
Avec d'autres produits chimiques	0
Avec l'eau	0
Réaction spontanée	0

Évaluation du risque selon la NFPA



Champ inférieur vide: utiliser l'eau comme moyen d'extinction

2 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

Aspect	Liquide incolore (Verschueren, 1984)
État d'expédition	Liquide
État d'agrégation à 15 °C, 1 atm	Liquide
Variables d'état	
Point de fusion	6,55 °C (CRC, 1980)
Point d'ébullition	80,74 °C (CRC, 1980)
Tension de vapeur	16,2 kPa à 30 °C (Kirk-Othmer, 1980)
Densités et masse volumique	
Masse volumique	0,7785 g/ml à 20 °C (PPH, 1984)
Densité relative	0,77855 (20°/4 °C) (CRC, 1980)
Densité de vapeur	2,90 (Verschueren, 1984)
Propriétés relatives à la combustion	
Inflammabilité	Liquide extrêmement inflammable (DuPont, 1984)
Point d'éclair (coupelle fermée)	-20 °C (NFPA, 1978) -17 °C (Kirk-Othmer, 1980)
Température d'inflammation spontanée	245 °C (NFPA, 1978)
Vitesse de combustion	6,9 mm/mn (CHRIS, 1978)
Limite supérieure d'inflammabilité	8 p. 100 (vol./vol.) (NFPA, 1978) 8,4 p. 100 (vol./vol.) (Kirk-Othmer, 1980)
Limite inférieure d'inflammabilité	1,3 p. 100 (vol./vol.) (NFPA, 1978)
Chaleur de combustion	3919 kJ/mol à 25 °C (CRC, 1980)
Produits de combustion	Acide carbonique et eau (CRC, 1980)
Risque de retour de flammes	Retour de flammes possible le long du panache de vapeurs (AAR, 1981)
Risque d'inflammation par une source électrique	Peut être enflammé par une décharge d'électricité statique
Miscibilité	
Eau	0,0055 g/100 ml (55 ppm) à 20 °C 0,0045 g/100 ml à 15 °C (Verschueren, 1984)
Autres produits	Miscible à l'éthanol, l'éther diéthylique, l'acétone et au tétrachlorure de carbone (CRC, 1980)

Autres propriétés

Masse moléculaire du corps pur	84,16 (CRC, 1980)
Composition d'une solution commerciale type	85 à 99,86 p. 100 de cyclohexane La qualité solvant, 85 p. 100 de cyclohexane, peut contenir des hexanes, des pentanes, du benzène et du toluène (ISH, 1977).
Indice de réfraction	1,42662 (20 °C) (CRC, 1980)
Viscosité	À l'état liquide: 0,980 mPa . s à 20 °C (Kirk-Othmer, 1980) À l'état gazeux: 0,083 mPa . s (PPH, 1984)
Tension superficielle du liquide avec l'air	25,5 mN/m à 20 °C (CRC, 1980)
Tension interfaciale du liquide avec l'eau	50 mN/m à 25 °C (CHRIS, 1978)
Chaleur latente de fusion	2,6 kJ/mol au point de fusion (CRC, 1980)
Chaleur latente de sublimation	33,0 kJ/mol à 25 °C (Lange's Handbook, 1979)
Chaleur latente de vaporisation	32,8 kJ/mol au point d'ébullition (CRC, 1980)
Chaleur de formation	-156,3 kJ/mol à 25 °C (Sussex, 1977)
Potentiel d'ionisation	9,88 eV (Lossing, 1976)
Capacité thermique massique à pression constante	152 J/mol . °C à 25 °C (CRC, 1980) À l'état gazeux: 116 J/mol . °C à 25 °C (PPH, 1984)
à volume constant	140 J/mol . °C à 25 °C (CRC, 1980; CHRIS, 1978)
Pression critique	4050 kPa (CRC, 1980)
Température critique	280,4 °C (CRC, 1980)
Teneur saturante	357 g/m^3 à 20 °C 532 g/m^3 à 30 °C (Verschueren, 1984)
Diffusivité	0,086 cm^2/s à 45 °C (Perry, 1973)
Coefficient de partage octanol/eau ($\log_{10}$)	3,44 (Hansch and Leo, 1979)
Constante diélectrique	2,023 à 20 °C (Kirk-Othmer, 1980)
Entropie	298,435 J/mol . K à 25 °C (Ullmann, 1975)
Taux d'évaporation	2,6 g/m^2 s à 20 °C (présent ouvrage)
Conductivité thermique	À l'état liquide: 1,3 x 10^{-3} W/cm . K à 20 °C À l'état gazeux: 1,26 x 10^{-4} W/cm . K à 25 °C (PPH, 1984)

Mélanges azéotropes

Second composant	Cyclohexane (% massique)	Point d'ébullition (°C)
Eau	91,6	69,0
Benzène	48,7	77,6
Méthanol	39	54,2
Éthanol	70	64,9
Acétone	32,5	53,0
Alcool iso-propylique	67	68,6

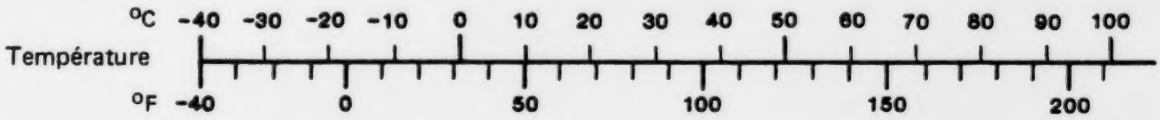
(Ullmann, 1975; Kirk-Othmer, 1980)

Facteur de conversion pour les vapeurs

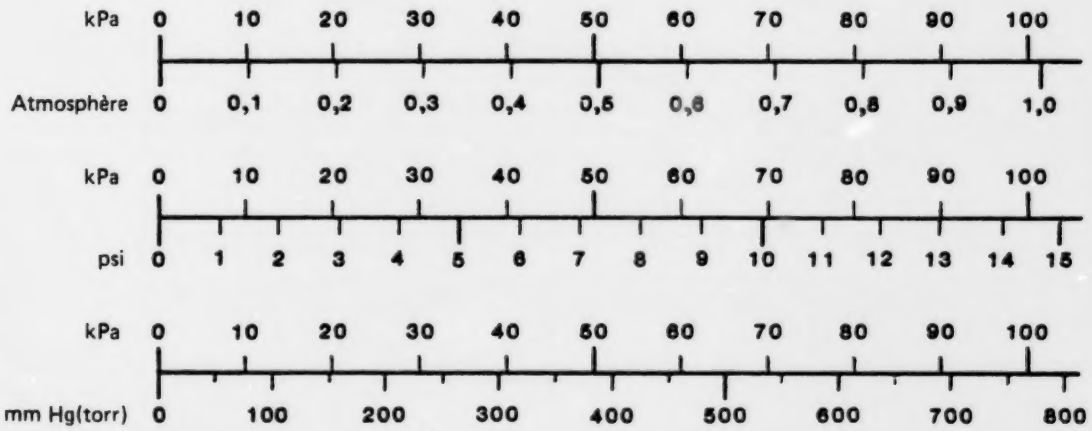
1 ppm = 3,492 mg/m^3 à 20 °C (Verschueren, 1984)

CYCLOHEXANE

NOMOGRAMMES DE CONVERSION



Pression 1 kPa = 1000 Pa



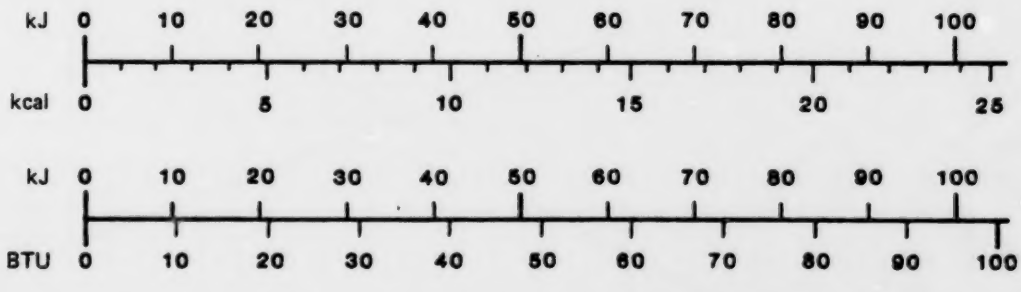
Viscosité

Dynamique 1 Pa·s = 1000 centipoises (cPo)

Cinématique 1 m^2/s = 1 000 000 centistokes (cSt)

Teneur (de l'eau)
1 ppm ≅ 1 mg/l

Énergie (chaleur) 1 kJ = 1 000 J



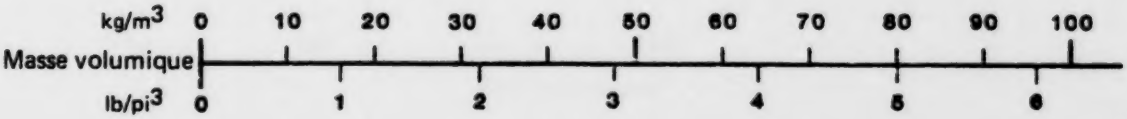


Figure 1

CYCLOHEXANE

TENSION DE VAPEUR EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Source: Wilhoit, 1971

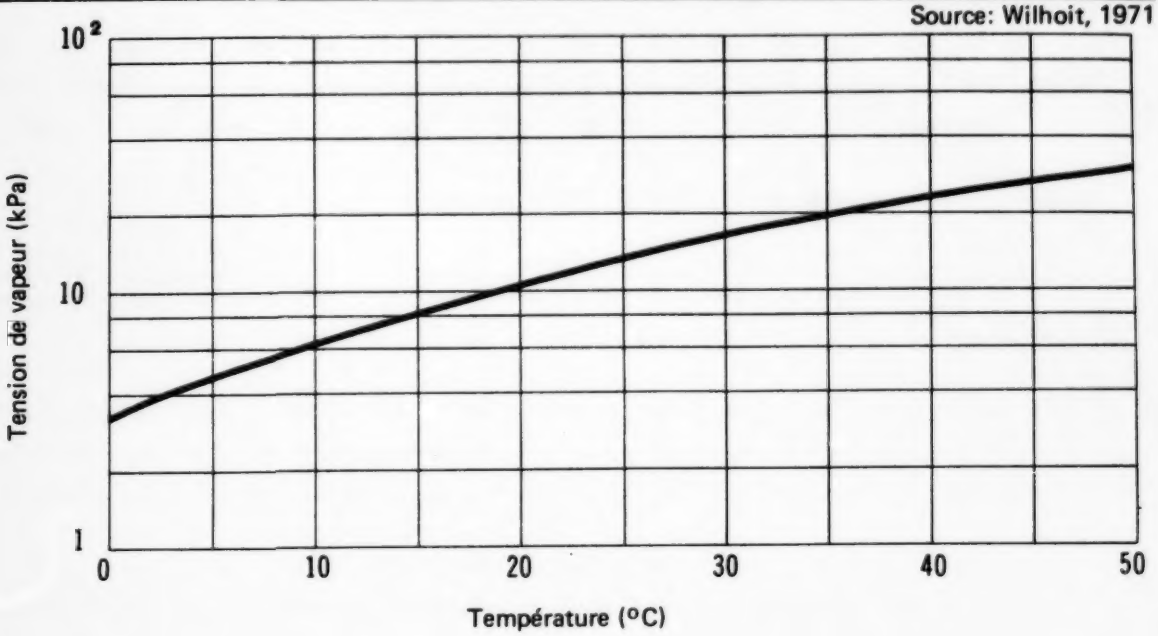


Figure 2

CYCLOHEXANE

TENSION SUPERFICIELLE DU LIQUIDE AVEC L'AIR

Source: PPH, 1984

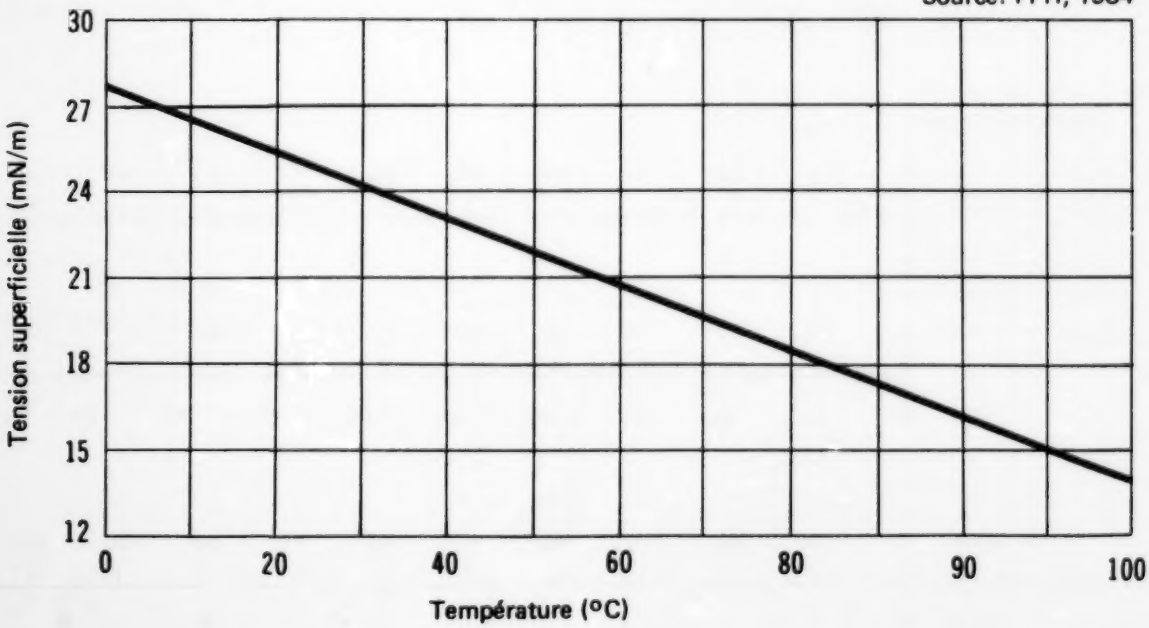


Figure 3

CYCLOHEXANE

MASSE VOLUMIQUE DU LIQUIDE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Source: CHRIS, 1978

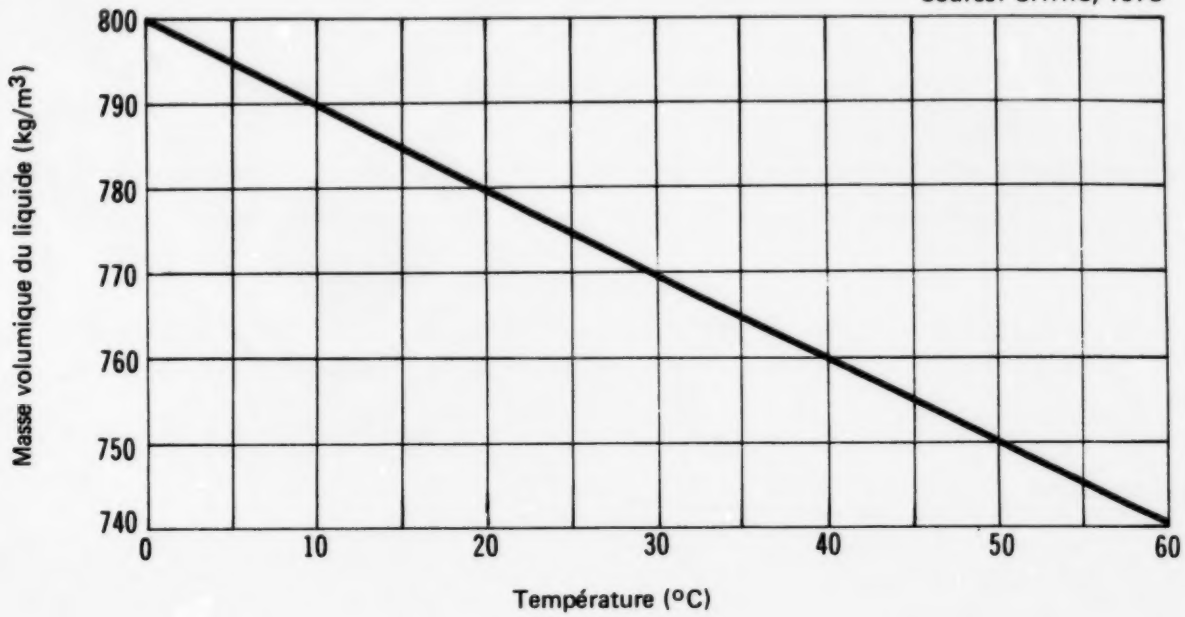


Figure 4

CYCLOHEXANE

VISCOSITÉ DE LIQUIDE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

PPH, 1984

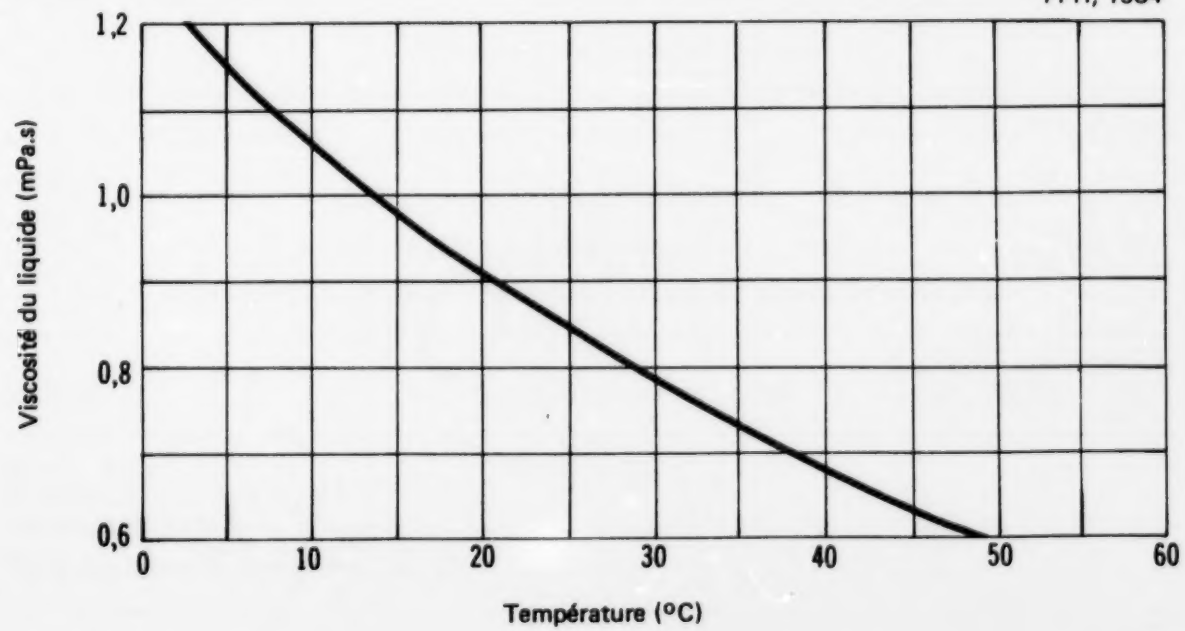
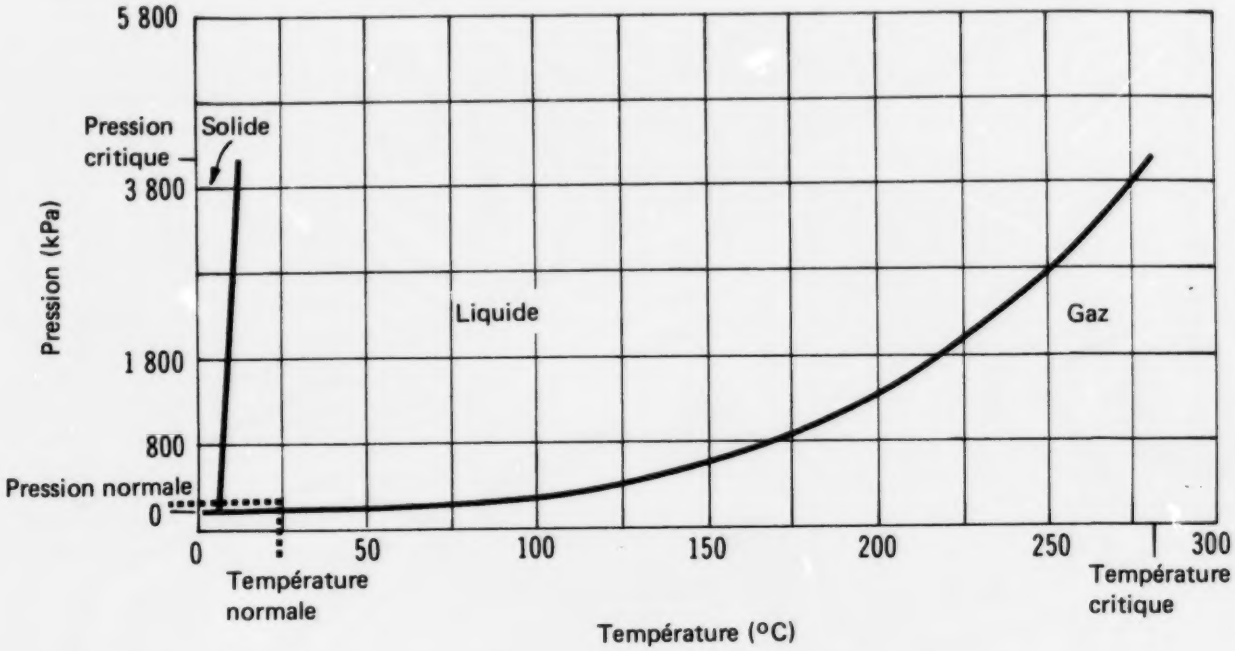


Figure 5

CYCLOHEXANE — **DIAGRAMME DE PHASES**



3 PRODUCTION, TRANSPORT ET COMMERCE

3.1 Qualités et teneurs (FKC, 1975; Kirk-Othmer, 1980)

Le cyclohexane est produit dans les deux qualités suivantes: la solution commerciale, d'une teneur de 99,9 p. 100; et la solution solvant, d'une teneur de 85 p. 100. Cette dernière solution contient également des hexanes, des pentanes, du benzène et du toluène.

3.2 Fabricant situé au Canada (Corpus, 1984; CBG, 1980)

L'adresse qui suit est celle du siège social de la compagnie. Elle n'est pas censée servir de premier recours en cas de déversement accidentel.

Gulf Canada Products Co., Division of Gulf Canada Ltd., 800 Bay Street, Toronto, Ontario, M5S 1Y8, (416) 924-4141

3.3 Autres fournisseurs (CBG, 1980)

Ashland Chemical/Solvents Division, Valvoline Oil and Chemicals, 150 Bronoco Avenue, Toronto, Ontario, M6E 4Y1, (416) 651-2822
General Intermediates of Canada, 10817, 138th Street, Edmonton, Alberta, T5M 1P6, (403) 454-5780
Kingsley & Keith (Canada) Ltd., 310, avenue Victoria, Montréal, Québec, H3Z 2M8, (514) 487-1550
Montedison Canada Ltée, 2045, rue Stanley, Montréal, Québec, H3A 2V4, (514) 842-5084, (514) 842-4355

3.4 Centre de production et transport

La production canadienne de cyclohexane est centralisée à Montréal (Québec). La majeure partie de cette production est expédiée à Maitland (Ontario), où se trouve le principal acheteur.

3.5 Volume de production (Corpus, 1984)

Capacité nominale de production et total des approvisionnements

Société	Emplacement de l'usine	Capacité nominale (kt/an, 1983)
Gulf Canada	Montréal, QC	104
Production nationale (1983)		93,5
Importations (1983)		0,03
Total des approvisionnements		93,53

3.6 Fabrication industrielle (FKC, 1975; Kirk-Othmer, 1980)

3.6.1 Information générale. - La fabrication du cyclohexane se fait par hydrogénation catalytique du benzène à des températures et des pressions élevées, ou encore par distillation fractionnée des naphtes issus du gaz naturel. L'usine de Montréal emploie la première méthode.

3.6.2 Procédés de fabrication

3.6.2.1 Hydrogénation catalytique du benzène. - On fait passer le benzène et l'hydrogène, mélangés à du cyclohexane et portés à une température de 210 °C et une pression de 2,4 à 3,5 kPa, dans des plateaux de catalyse à base de nickel ou de platine; le mélange passe habituellement par plusieurs plateaux. Le cyclohexane ajouté comme diluant permet d'absorber la chaleur de réaction, qui provoquerait autrement une isomérisation et l'ouverture du noyau:

$$C_6H_6 + 3H_2 \xrightarrow{Ni,\ Pt} C_6H_{12}\ (99\ \%\ +).$$

Le liquide à traiter est ensuite dégazé dans un petit rebouilleur. Le cyclohexane ainsi obtenu est d'une pureté d'environ 99,9 p. 100.

3.6.2.2 Distillation fractionnée du naphte. - Cette méthode produit un cyclohexane de qualité solvant, pur à environ 85 p. 100. Une épuration plus poussée s'avérerait peu réalisable en raison des points d'ébullition similaires des différents constituants du naphte. Le procédé consiste à distiller le naphte afin d'en extraire le méthylcyclopentane, laissant du cyclohexane et des diméthylpentanes, puits à le déshydrogéner dans un reformeur pour produire du benzène et du méthylcyclopentane:

$$C_6H_{12} \longrightarrow C_6H_6 + CH_3C_5H_9.$$

Une nouvelle distillation permet d'éliminer les substances à point d'ébullition peu élevé comme les pentanes, et d'obtenir un mélange composé à 90 p. 100 de méthylcyclopentane et à 10 p. 100 de benzène. Ce mélange, auquel on ajoute le méthylcyclopentane tiré de la première distillation, est ensuite hydrogéné, et le benzène est converti en cyclohexane:

$$C_6H_6 \longrightarrow C_6H_{12}.$$

On procède pour finir à la transformation en cyclohexane, par isomérisation, du méthylcyclohexane contenu dans le liquide à traiter, en le faisant passer sur du chlorure d'aluminium:

$$CH_3C_5H_9 \longrightarrow C_6H_{12}.$$

3.7 **Principales utilisations au Canada** (Corpus, 1984)

Le cyclohexane est utilisé dans la fabrication de l'acide adipique (pour les intermédiaires du nylon), du cyclohexanol et du cyclohexanone, ainsi que comme solvant. Presque toute la production canadienne sert toutefois à la fabrication d'acide adipique.

3.8 **Principal acheteur au Canada** (Corpus, 1984)

DuPont Canada, Maitland (Ontario)

4 MANUTENTION DU PRODUIT ET COMPATIBILITÉ

4.1 Citernes et autres récipients d'expédition

4.1.1 Transport en vrac. - Les citernes et autres récipients d'expédition servant au transport en vrac ont été regroupés en deux grandes catégories: les wagons-citernes et les véhicules-citernes routiers.

4.1.1.1 Wagons-citernes. - Des wagons-citernes de diverses spécifications peuvent être utilisés pour le transport du cyclohexane (tableau 2) (TCM, 1979; RTDCR, 1974). Le wagon de spécification 111A60W1, dont on peut voir une illustration à la figure 6, est toutefois le plus courant. On trouvera au tableau 3 le détail des caractéristiques relatives au wagon-citerne montré à la figure 6 (TCM, 1979). Le wagon de ce type est muni d'un dispositif permettant le déchargement (ou vidange) par le haut à l'aide d'une pompe; cela est rendu possible grâce à une

Tableau 2
Spécifications CCT/DOT s'appliquant aux wagons-citernes utilisés pour le cyclohexane

Numéro	Description
111A60W1	Citerne en acier soudée par fusion, sans dôme. Avec ou sans calorifugeage. Marge de remplissage minimale de 2 p. 100. Indicateur de niveau. Pression d'essai de 414 kPa (60 lb/po^2).
111A60F1	Citerne en acier soudée à la forge, sans dôme. Avec ou sans calorifugeage. Marge de remplissage minimale de 2 p. 100. Indicateur de niveau. Pression d'essai de 414 kPa (60 lb/po^2).
111A100W1	Citerne en acier soudée par fusion, sans dôme. Avec ou sans calorifugeage. Marge de remplissage minimale de 2 p. 100. Indicateur de niveau. Orifice de déchargement ou orifice de purge par le bas facultatifs. Pression d'essai de 690 kPa (100 lb/po^2).
103W	Citerne en acier soudée par fusion, sans dôme. Avec ou sans calorifugeage. Capacité minimale d'expansion dans le dôme: 2 p. 100. Soupape ou évent de sûreté réglés respectivement à 242 kPa (35 lb/po^2) ou 414 kPa (60 lb/po^2). Orifice de déchargement ou orifice de purge par le bas facultatifs.
103ALW	Citerne en aluminium soudée par fusion, avec dôme. Avec ou sans calorifugeage. Capacité minimale d'expansion dans le dôme: 2 p. 100. Soupape ou évent de sûreté réglés respectivement à 242 kPa (35 lb/po^2) ou 414 kPa (60 lb/po^2). Orifice de déchargement ou orifice de purge par le bas facultatifs.
104W	Identique à 103W, mais avec calorifugeage.

Tableau 3
Caractéristiques des wagons-citernes de spécification 111A60W1 utilisés pour le cyclohexane (TCM, 1979; RTDCR, 1974)

Description	Capacité nominale de la citerne (gal imp.)		
	16 700	17 200	20 000
Structure			
Capacité nominale	75 700 l (16 700 gal)	78 000 l (17 200 gal)	90 900 l (20 000 gal)
Tare	33 900 kg (74 700 lb)	33 900 kg (74 700 lb)	38 900 kg (85 800 lb)
Masse brute	119 000 kg (263 000 lb)	83 500 kg (184 000 lb)	119 000 kg (263 000 lb)
Réservoir			
Matériau	Acier	Acier	Acier
Épaisseur	11,1 mm (7/16 po)	11,1 mm (7/16 po)	11,1 mm (7/16 po)
Diamètre intérieur	2,60 m (102 po)	2,62 m (103 po)	2,74 m (108 po)
Pression d'essai	414 kPa (60 psi)	414 kPa (60 psi)	414 kPa (60 psi)
Pression d'éclatement	1640 kPa (240 psi)	1640 kPa (240 psi)	1640 kPa (240 psi)
Dimensions approximatives			
Longueur avec organes d'attelage	17 m (57 pi)	17 m (57 pi)	18 m (60 pi)
Longueur avec pylônes de choc	16 m (53 pi)	16 m (53 pi)	17 m (57 pi)
Distance entre pivots de bogie	13 m (42 pi)	13 m (42 pi)	14 m (45 pi)
Hauteur au sommet du caillebotis	4 m (12 pi)	4 m (12 pi)	4 m (12 pi)
Hauteur hors-tout	5 m (15 pi)	5 m (15 pi)	5 m (15 pi)
Largeur hors-tout (avec poignées)	3,2 m (127 po)	3,2 m (127 po)	3,2 m (127 po)
Longueur du caillebotis	2 - 3 m (8 - 10 pi)	2 - 3 m (8 - 10 pi)	2 - 3 m (8 - 10 pi)
Largeur du caillebotis	1,5 - 2 m (5 - 6 pi)	1,5 - 2 m (5 - 6 pi)	1,5 - 2 m (5 - 6 pi)
Déchargement par le haut			
Raccord de déchargement	51 mm (2 po)	51 mm (2 po)	51 mm (2 po)
Orifice de remplissage/ trou d'homme	203 - 356 mm (8 - 14 po)	203 - 356 mm (8 - 14 po)	203 - 356 mm (8 - 14 po)
Raccord d'arrivée d'air	25 - 51 mm (1 - 2 po)	25 - 51 mm (1 - 2 po)	25 - 51 mm (1 - 2 po)
Déchargement par le bas			
Orifice de déchargement par le bas	102 - 152 mm (4 - 6 po)	102 - 152 mm (4 - 6 po)	102 - 152 mm (4 - 6 po)

Description	Capacité nominale de la citerne (gal imp.)		
	16 700	17 200	20 000
Dispositifs de sécurité	Évent ou soupape de sécurité		
Dôme	Aucun		
Isolation	Facultative		

tubulure de déchargement qui va du bas du réservoir jusqu'à la plate-forme supérieure où elle se termine par un robinet de raccord. Le déchargement des citernes de cyclohexane ne se fait jamais au moyen d'air comprimé (MCA, 1957).

On doit trouver sur la plate-forme supérieure une soupape et un évent de sûreté, réglés respectivement à 241 kPa (35 lb/po^2) et 414 kPa (100 lb/po^2). Un indicateur de niveau, à tige ou à ruban, est également requis, et le raccord de vidange par le haut doit être placé sous un capot de protection.

4.1.1.2 Véhicules-citernes. - Les véhicules utilisés pour le transport routier du cyclohexane sont équipés de citernes sous pression normale (MCA, 1957). La pression nominale de telles citernes ne dépasse pas 21 kPa (3 lb/po^2). Ces véhicules ressemblent aux wagons-citernes décrits ci-dessus, et un robinet de raccord placé sur le dessus de la citerne permet généralement leur déchargement par pompage.

L'équipement et les opérations de déchargement des véhicules-citernes et ceux des wagons-citernes sont similaires.

4.1.2 Transport en fûts. - Le cyclohexane peut être transporté en vrac ou en fûts. Ces derniers peuvent être faits de différents matériaux dont la liste est fournie au tableau 4 (TDGC, 1980).

4.2 Déchargement

4.2.1 Équipement et opérations de déchargement des wagons-citernes. - Il est nécessaire, avant de procéder au déchargement, de prendre les précautions suivantes (MCA, 1957):

- On s'assure que le réservoir de stockage, doté d'un évent, est d'une capacité au moins équivalente à celle du wagon;
- Le matériel d'éclairage utilisé pour le déchargement de nuit doit être de type antidéflagrant;
- Le personnel ne doit en aucun cas pénétrer dans le wagon;

Tableau 4
Caractéristiques des fûts utilisés pour le transport du cyclohexane

Catégorie	Code	Description	Figure
Acier	1A1	Dessus non amovible; réutilisable	7
	1A1A	1A1 avec rebords renforcés	7
	1A1B	1A1 avec collerette de fermeture soudée	7
	1A1D	1A1 avec revêtement intérieur (autre que le plomb)	
	1A2	Dessus amovible; réutilisable	7
	1A3	Dessus non amovible; non réutilisable	7
Monel*	TC5M		
Aluminium	1B1	Dessus non amovible	7
	1B2	Dessus amovible	7
Fût en acier avec récipient intérieur en matière plastique	6HA1	Tôle extérieure en acier en forme de fût. Récipient intérieur en matière plastique. Contenance de 225 litres (49 gal).	
Fût en carton avec récipient intérieur en matière plastique	6HG1	Récipient extérieur en carton, fait de feuilles convolutées. Récipient intérieur en matière plastique en forme de fût. Contenance de 225 l.	

* Voir § 4.3

- Les freins doivent être serrés et les roues, calées; les dérailleurs doivent être installés et les écriteaux d'avertissement, mis en place;
- Le quai de service où se fait le déchargement doit offrir toutes les conditions de sécurité;
- Les outils utilisés au cours du déchargement doivent être de type anti-étincelant;
- Le wagon-citerne doit être mis à la terre de manière appropriée.

Le déchargement par le haut s'effectue comme suit (MCA, 1957):

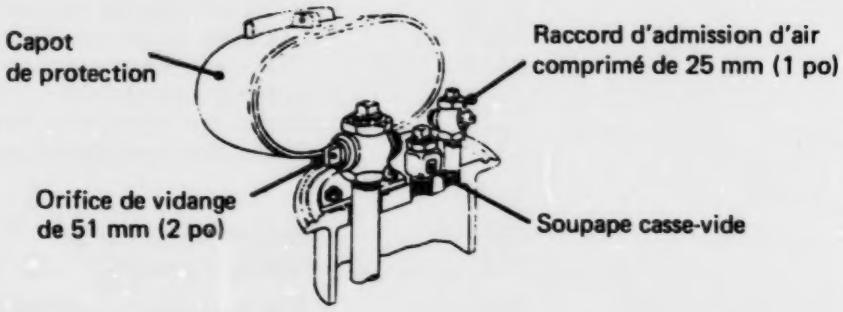
- Pour réduire la tension de vapeur à l'intérieur de la citerne, refroidir celle-ci avec de l'eau ou ventiler à intervalles rapprochés;
- Retirer le capot de protection recouvrant la tubulure de vidange et lui raccorder la conduite de transvasement de 51 mm (2 po);
- Effectuer le déchargement de la citerne par pompage seulement.

4.2.2 Spécifications et matériaux de fabrication de l'équipement de déchargement. - Les matériaux de fabrication, ainsi que les spécifications, mentionnés dans la présente section sont ceux qui prévalent généralement dans le transport du cyclohexane. D'autres matériaux peuvent

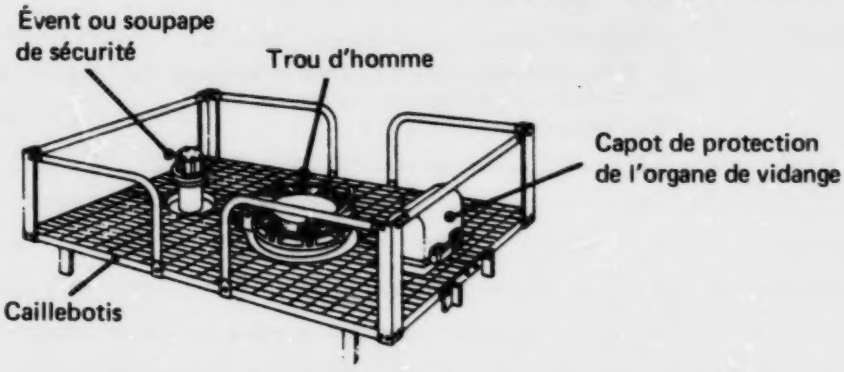
Figure 6

CYCLOHEXANE **WAGON-CITERNE DE SPÉCIFICATION 111A60W1**

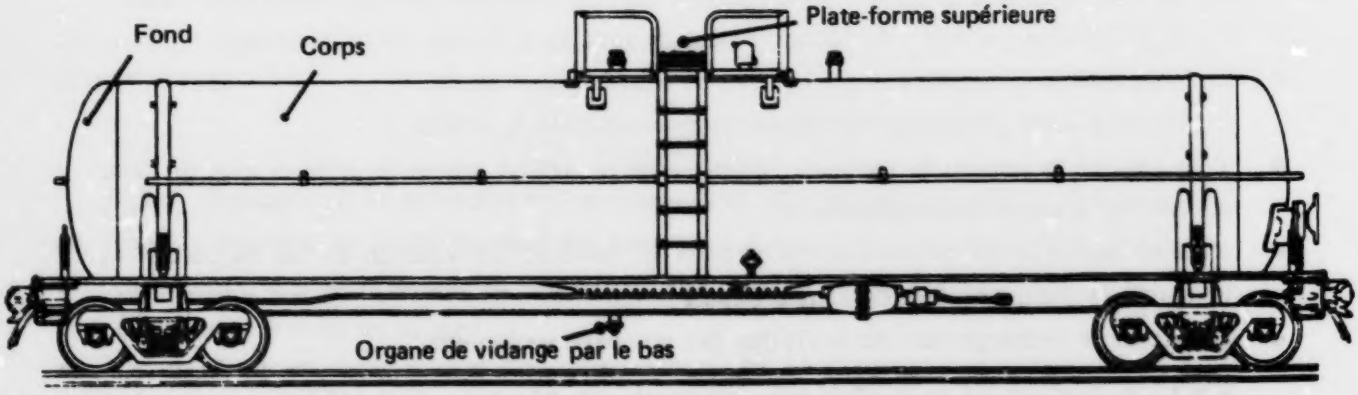
Sources: TCM, 1979; RTDCR, 1974



Détail de l'organe de vidange par le haut



Détail de la plate-forme supérieure

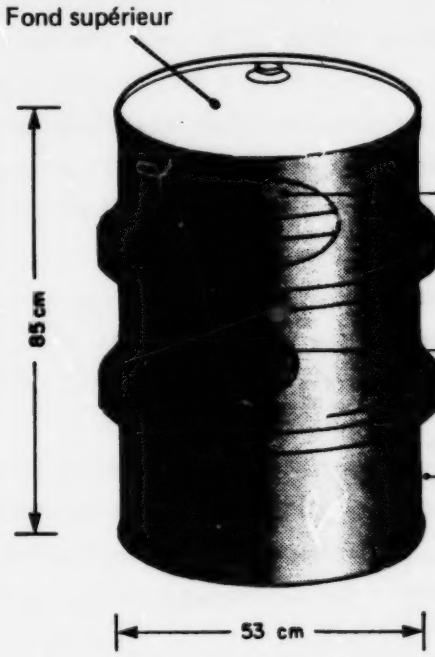


Principaux éléments du wagon-citerne

Figure 7

CYCLOHEXANE

FÛTS TYPES



Fût en monel

Étiquette d'identification

Joncs de roulage faits de caoutchouc naturel solide et flexible

Diamètre maximal de la bonde de 59 mm

Corps et fonds fabriqués en monel de 10 mm d'épaisseur

Capacité maximale de 220 l

Fût en acier

Revêtement intérieur en plomb d'au moins 2,4 mm pour la catégorie 1A1C

Étiquette d'identification

Diamètre maximal de la bonde de 70 mm

Corps et fonds fabriqués en acier laminé

Capacité maximale de 250 l

Masse nette maximale: 400 kg

Fût en aluminium

Étiquette d'identification

Diamètre maximal de la bonde de 70 mm

Corps et fonds fabriqués en aluminium pur à 99 % au moins

Capacité maximale de 250 l

Masse nette maximale: 400 kg

être employés dans certains cas; on consultera à cet égard le tableau 5. L'équipement de déchargement type dont nous traiterons ici inclue notamment les conduites et leurs raccords, les flexibles, la robinetterie et les pompes.

On recommande l'utilisation de conduites et de raccords en acier au carbone sans soudure de calibre 40, conformes à la norme ASTM A106, avec revêtement intérieur en résine de polyéther chloré (DCRG, 1978). Les joints doivent être du type à brides et être soudés car les conduites et les raccords filetés ont tendance à fuir très rapidement. Des soudures supportant les tensions permettront également d'augmenter la durée de service de la tuyauterie. Celle-ci doit être éprouvée à l'air, à des pressions allant de 345 à 518 kPa (50 à 75 lb/po^2), et toutes les fuites doivent être soigneusement éliminées.

La conduite de transvasement devrait avoir 51 mm (2 po) de diamètre de préférence, pour s'adapter à l'orifice de déchargement des wagons-citernes, mais elle peut être de presque n'importe quel diamètre. Les conduites de moins de 25 mm (1 po) ne sont pas recommandées. Les conduites extérieures doivent se vidanger d'elles-mêmes.

Les sections souples de la conduite de transvasement doivent être dotées de joints de dilatation flexibles du type à soufflet, faits de brides en fer doux conformes à la norme ASA et pourvues d'éléments dilatables en résine de tétrafluoréthylène moulée (Dow PPS, 1972). On utilise parfois pour les sections souples des flexibles garnis d'un revêtement intérieur en résine de polypropylène.

Les robinets à membrane en fonte ou en acier coulé avec revêtement intérieur en polyéther chloré ou en résine de fluorure de polyvinylidène offrent un rendement satisfaisant (Dow PPS, 1972).

Une pompe aspirante centrifuge monophase avec extrémité d'admission en acier 316 donne de bons résultats. On s'assurera, en vue de permettre les réparations en toute sécurité, que la pompe puisse être vidangée (MCA, 1957). Celle-ci doit de plus être dotée de brides tant du côté aspiration que du côté sortie; les raccords filetés fuient en effet plus facilement et ne doivent pas être utilisés.

4.3 Compatibilité entre le produit et certains matériaux

La compatibilité entre le cyclohexane et certains matériaux de fabrication est indiquée dans le tableau 5. Le mode d'évaluation utilisé dans le tableau 5 est décrit brièvement ci-dessous.

Recommandé: Le matériau donnera un rendement satisfaisant pour l'utilisation indiquée.

Avec réserves: Le matériau montrera des signes de détérioration pour l'utilisation indiquée; il peut convenir pour une utilisation intermittente ou de courte durée.

Déconseillé: L'utilisation indiquée causera une grave détérioration du matériau; l'emploi du matériau est donc déconseillé.

Tableau 5
Compatibilité entre le cyclohexane et certains matériaux de fabrication

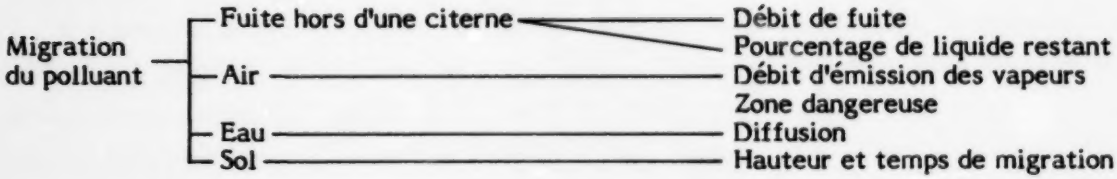
Utilisation	Teneur	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
1. Conduites et raccords					Polyéthylène, acrylonitrile-butadiène-styrène, PVC I (MWPP, 1978)
		135	Fluorure de polyvinylidène (DCRG, 1978)		
	100 %	21 107	Acier au carbone, polyéther chloré (DCRG, 1978)		
		52	Chlorure de polyvinylidène (DCRG, 1978)		
		24	Polypropylène (DCRG, 1978)		
2. Robinetterie		21	Acier inox 316 (JSSV, 1979)		
3. Réservoirs de stockage	100 %	21	Acier au carbone		
4. Autres					PVC I, polyéthylène, acrylonitrile-butadiène-styrène (MWPP, 1978)

5 FUITE ET MIGRATION DU PRODUIT

5.1 Aperçu général

Le cyclohexane est un liquide faiblement visqueux et très peu miscible à l'eau. Déversé accidentellement, il forme une nappe liquide qui s'étale sur le sol ou à la surface de l'eau, émettant des vapeurs de façon continue.

Une fraction du cyclohexane répandu sur le sol se vaporise tandis que le reste pénètre dans le sol à une vitesse variant selon la nature de ce dernier et son degré de saturation en eau. La migration du produit jusqu'à la nappe phréatique peut entraîner une pollution.



À cause du caractère approximatif des calculs dans le domaine de la migration des polluants, la méthode adoptée consiste à utiliser des estimations prudentes des paramètres critiques dans le but d'établir des prévisions qui reflètent le plus fidèlement possible les pires scénarios. En suivant cette méthode, il se peut que l'on doive poser des hypothèses différentes pour chaque milieu. Cette méthode permet donc de comparer le comportement de différents produits chimiques selon les pires scénarios à partir d'hypothèses compatibles avec chaque milieu.

5.2 Fuite du produit

5.2.1 Introduction. - Le cyclohexane est généralement transporté dans des wagons-citernes qui ne sont pas sous pression. Les modèles de wagons-citernes varient beaucoup, de sorte que nous avons dû en choisir un en particulier pour établir les nomogrammes de la fuite. Le modèle choisi a un diamètre de 2,75 m, une longueur de 13,4 m et peut contenir 80 000 litres.

S'il y a perforation, au-dessous du niveau du liquide, de la paroi de la citerne remplie de cyclohexane, tout le liquide s'écoulera sous l'action de la pesanteur. Grâce aux nomogrammes, on pourra calculer la quantité de liquide restant dans la citerne ainsi que le débit de fuite du liquide, à mesure que le temps s'écoulera. Comme les citernes ne sont pas sous pression et comme le produit est peu volatil, aucun nomogramme n'a été élaboré sur la fuite de vapeurs par un orifice qui serait situé au-dessus du niveau du liquide.

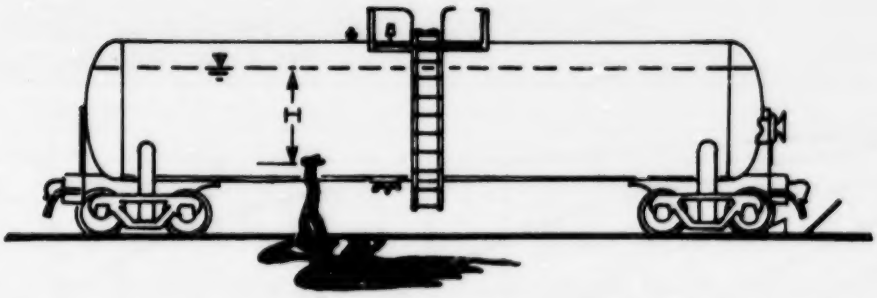


Figure 8 ORIFICE AU-DESSOUS DU NIVEAU DU LIQUIDE

5.2.2 Nomogrammes de la fuite

5.2.2.1 Pourcentage de liquide restant en fonction du temps écoulé. - La figure 9 permet d'évaluer le pourcentage de liquide restant dans un wagon-citerne en fonction du temps écoulé depuis le moment de la perforation et en fonction d'un certain nombre de diamètres de l'orifice. Ces diamètres sont des diamètres équivalents et valent pour des orifices de toutes formes.

On suppose que le wagon-citerne type contient 80 000 litres de liquide et qu'il est plein au moment de la perforation. Le volume de liquide restant, après un temps t écoulé donné, n'est pas seulement fonction du débit de fuite, mais aussi de la taille et de la forme du wagon-citerne.

5.2.2.2 Débit de fuite en fonction du temps écoulé. - La figure 10 permet d'évaluer à tout instant le débit de fuite après un temps t écoulé donné, en fonction de diamètres équivalents donnés. Le nomogramme ne vaut que pour un wagon-citerne dont le contenu initial est de 80 000 litres.

5.2.3 Exemples de calcul

PROBLÈME A

Il y a eu perforation d'un wagon-citerne type rempli de cyclohexane. L'orifice est situé dans le bas du réservoir, au dessous du niveau du liquide. Son diamètre équivalent est de 150 mm. Quel pourcentage du volume initial de 80 000 l représente le volume de liquide restant après 10 minutes? Solution (voir fig. 9): si t = 10 mn et D = 150 mm, le volume de liquide restant représente 36 p. 100 (28 800 l) du volume initial.

PROBLÈME B

Les données du problème B étant les mêmes que celles du problème A, quel est le débit instantané, 10 minutes après le moment de la perforation? Solution (voir fig. 10): si t = 10 mn et D = 150 mm, le débit instantané q = 70 l/s.

Figure 9

CYCLOHEXANE

POURCENTAGE DE LIQUIDE RESTANT EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ

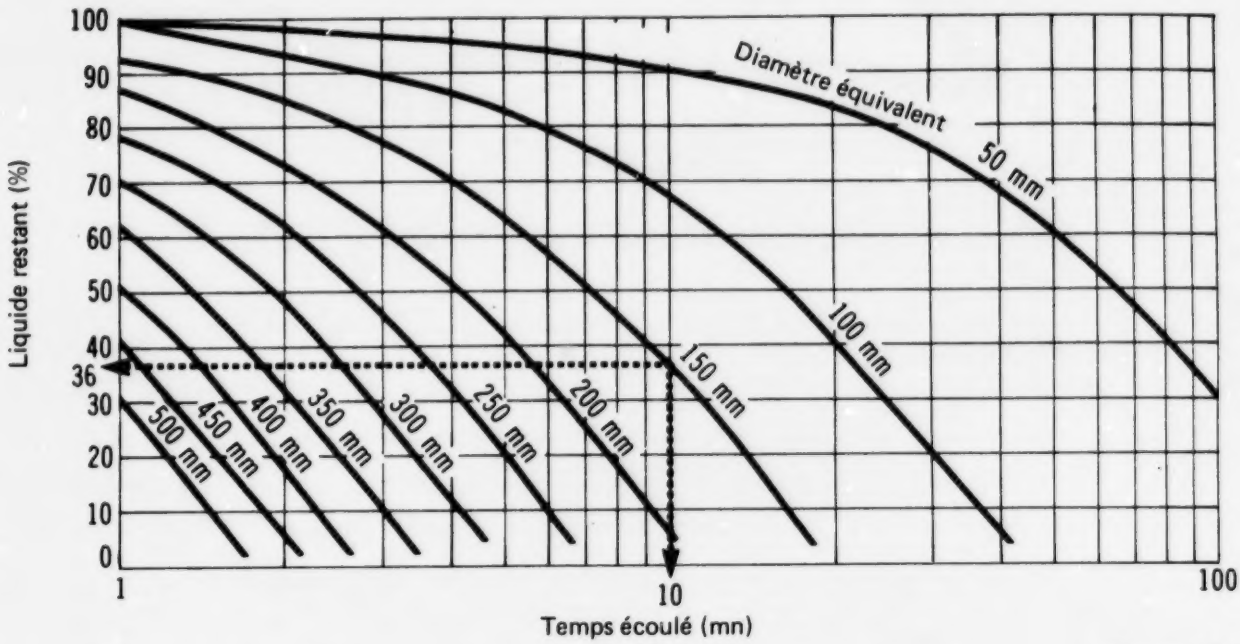
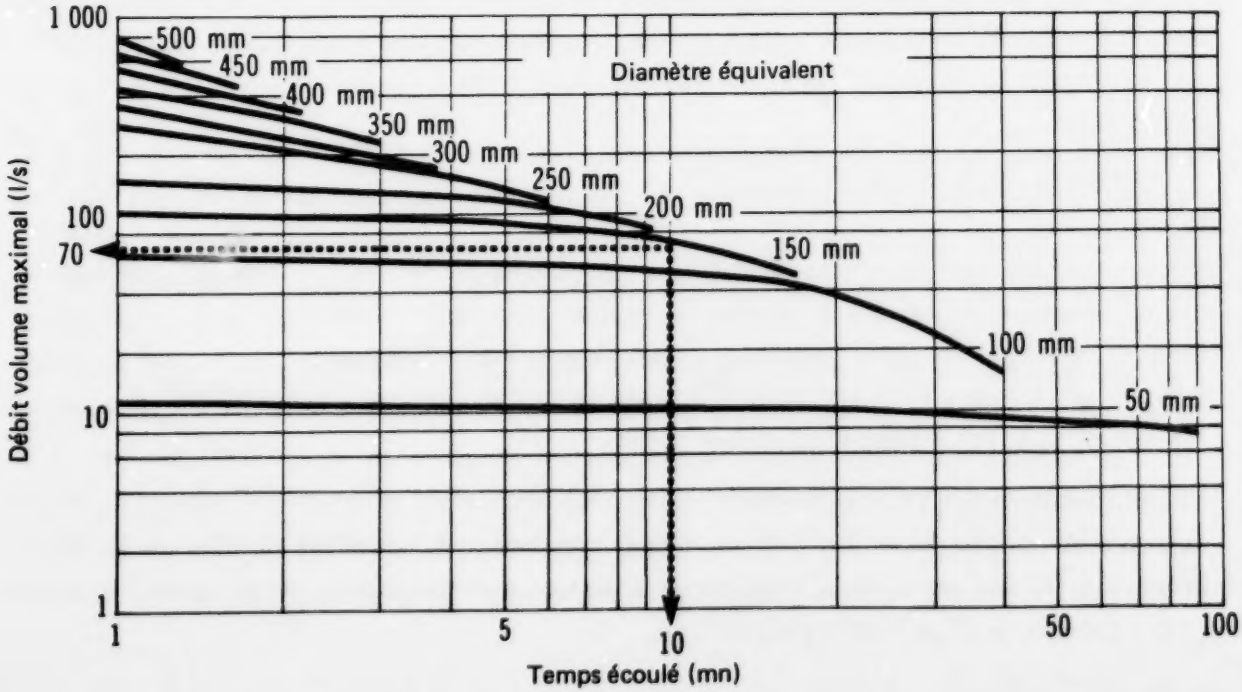


Figure 10

CYCLOHEXANE

DÉBIT DE FUITE EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ



5.3 Diffusion dans l'atmosphère

5.3.1 Introduction. - Comme le cyclohexane n'est pas un liquide très volatil, une fuite de vapeurs dans l'atmosphère à partir d'un orifice dans la paroi d'une citerne ne présente aucun danger véritable du côté sous le vent. Il ne sera question dans le présent ouvrage que des vapeurs émises par une nappe de liquide répandu sur le sol ou à la surface de l'eau.

Pour évaluer les teneurs en polluant du côté sous le vent par rapport au lieu de l'accident et déterminer la zone dangereuse sur le plan de la toxicité ou de l'inflammabilité, il faut modéliser le transport et la diffusion (turbulente) dans l'atmosphère des vapeurs. Les modèles utilisés supposent une répartition gaussienne des teneurs au sein du panache; ce sont les plus répandus pour la prévision des teneurs en polluants. (Le lecteur trouvera de plus amples renseignements à ce sujet dans le *Manuel d'introduction Enviroguide*.)

La figure 11 schématise la diffusion d'un panache polluant émis en continu par une aire source. Le modèle de diffusion assimile l'aire source, soit la nappe de liquide, à un point source théorique (possédant le même débit d'émission de vapeurs q), situé en amont, à une distance équivalant à dix fois le rayon de la nappe.

5.3.2 Nomogrammes de la diffusion du panache de vapeurs. - Les nomogrammes de la diffusion atmosphérique du panache servent à déterminer la zone dangereuse sur les plans de la toxicité et de l'inflammabilité. Les nomogrammes, figures et tableaux présentés ci-dessous apparaissent dans l'ordre dans lequel ils doivent être utilisés, comme le lecteur pourra s'en rendre compte dans les pages qui suivent.

Figure 13	Débit d'émission des vapeurs se dégageant d'une nappe liquide, calculé en fonction du rayon maximal de la nappe
Tableau 6	Catégories météorologiques (de stabilité)
Figure 14	Teneur uniformisée en vapeurs, calculée en fonction d'une distance donnée sous le vent et pour différentes catégories météorologiques
Tableau 7	Demi-largeur maximale du panache dangereux
Figure 15	Distance parcourue par le panache, calculée en fonction du temps écoulé depuis le déversement pour différentes vitesses de vent

La figure 12 indique les étapes à suivre dans le calcul de la diffusion des vapeurs et dans le choix des nomogrammes et des tableaux à utiliser. En fait, ce sont les étapes encadrées par un pointillé qui servent dans la présente section. (Les données relatives au volume total de liquide déversé figurent à la section 5.2.) Le lecteur trouvera dans les paragraphes qui suivent l'information relative à chacun des nomogrammes de la diffusion et à son utilisation.

5.3.2.1 Débit d'émission des vapeurs en fonction du rayon de la nappe et de la température. - Le manuel d'introduction de la collection fournit des équations sur la vitesse d'évaporation permettant de calculer le débit d'émission propre au cyclohexane. À une

Figure 11

CYCLOHEXANE

FORMATION D'UN PANACHE DE VAPEURS

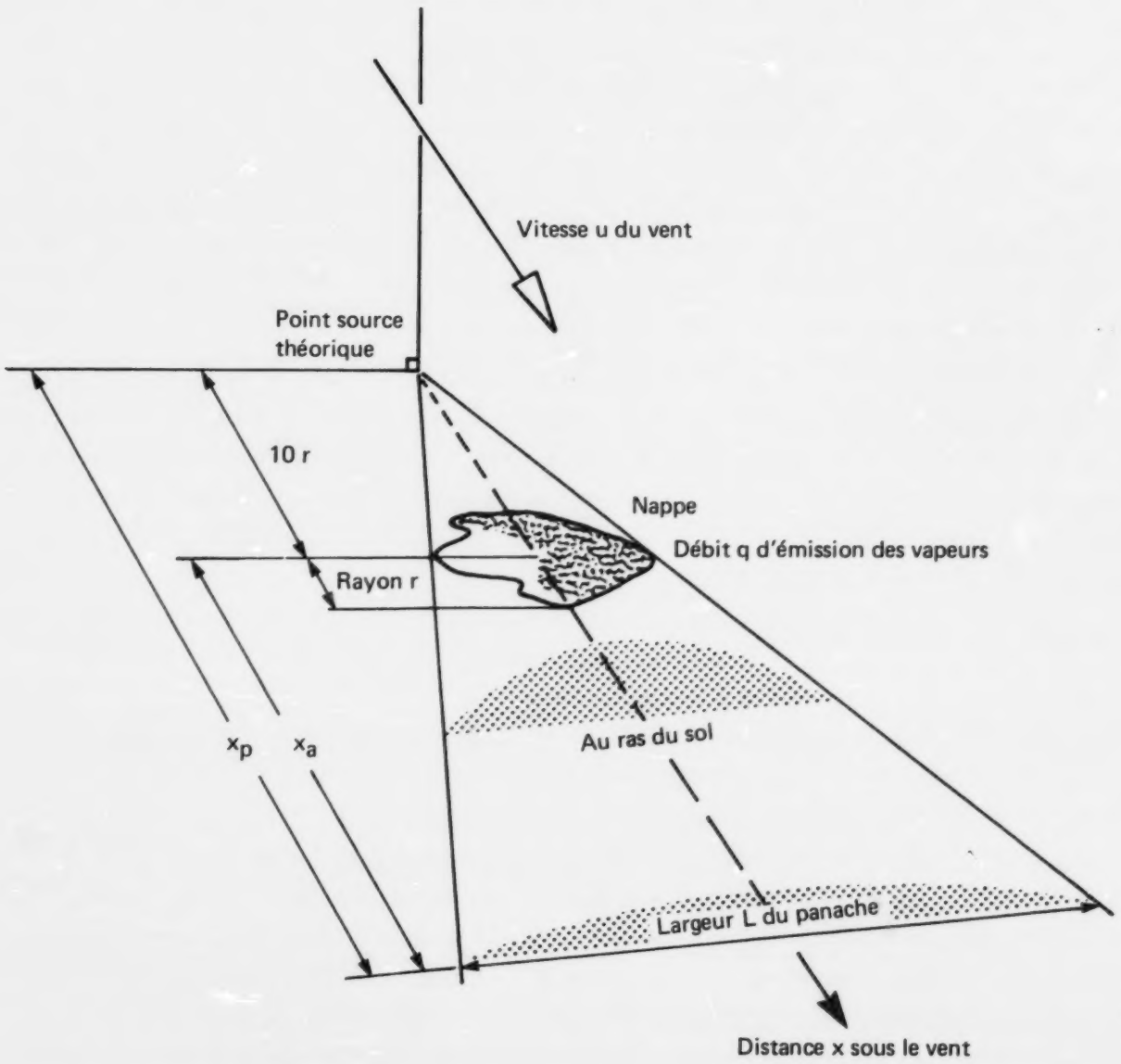
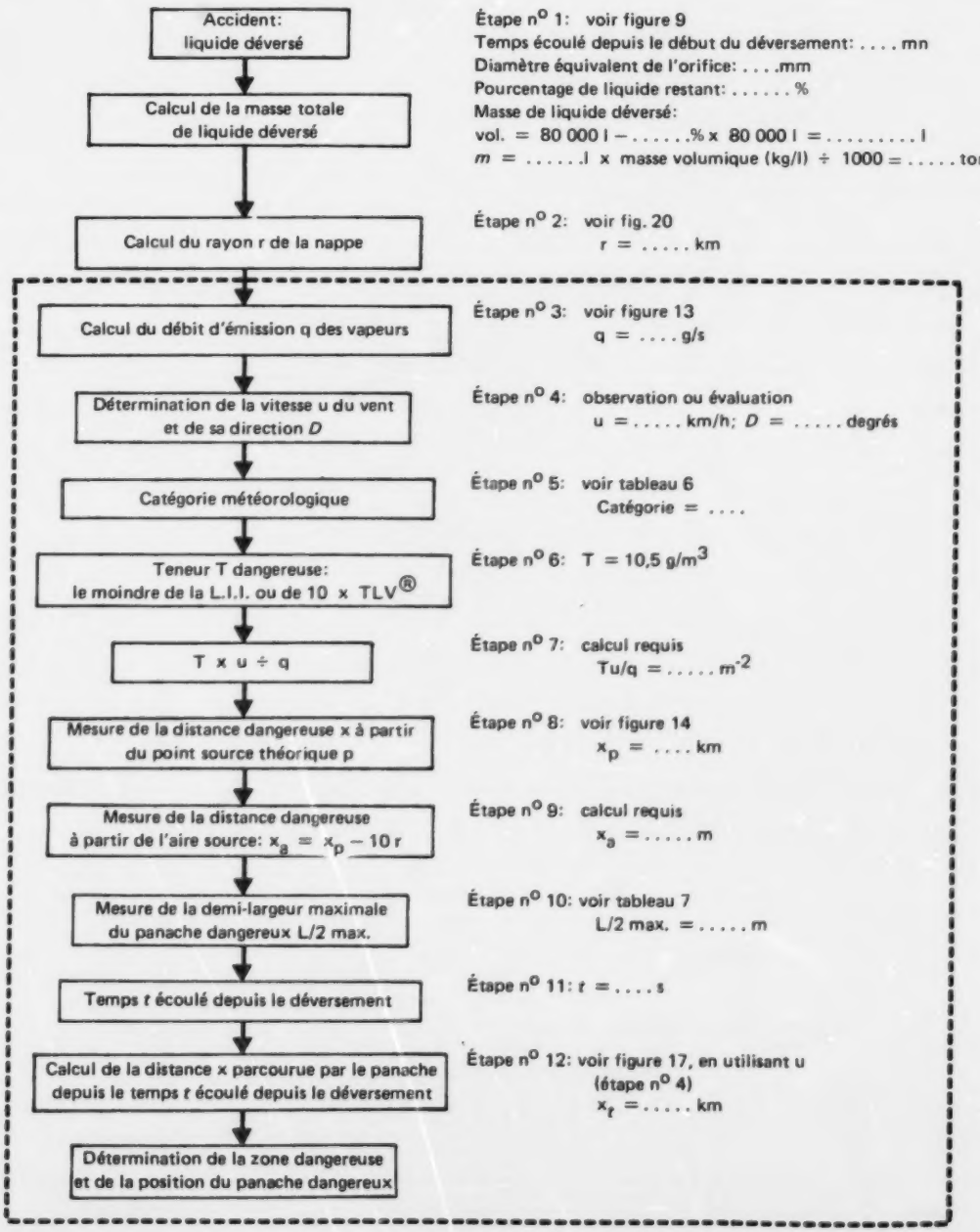


Figure 12

CYCLOHEXANE **ÉTAPES À SUIVRE POUR DÉTERMINER LA ZONE DANGEREUSE**



température de 20 °C et sous un vent dont la vitesse est de 4,5 m/s (16,1 km/h), ce débit est de 2,6 g/(m^2 . s). D'autres débits ont été calculés à l'aide d'une équation qui, pour un vent donné, tient compte de la température ambiante et de la tension de vapeur du produit (Perry, 1973) à cette température. Ainsi, pour un vent dont la vitesse est de 4,5 m/s, le débit d'émission est de 0,90 g/(m^2 . s) à 0 °C, alors qu'il est de 3,74 g/(m^2 . s) à 30 °C.

La figure 20 (section 5.4) permet de déterminer le rayon maximal de la nappe pour diverses quantités déversées. C'est à partir de ces derniers résultats, combinés aux débits d'émission calculés précédemment, qu'est établi le nomogramme du débit d'émission de vapeurs montré à la figure 13.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

Pour une nappe de rayon connu, le débit q d'émission de vapeurs dans l'atmosphère à une température donnée, peut être évalué à l'aide de la figure 13. Les segments continus des droites représentent des quantités déversées allant de 0,05 à 62 tonnes, ce dernier chiffre correspondant à peu près au volume type de 80 000 litres (17 600 gal imp.) contenu dans un wagon-citerne chargé de cyclohexane. Le lecteur notera que la figure 13 vaut pour une vitesse du vent de 4,5 m/s (16,1 km/h); elle ne permet donc qu'une évaluation approximative du débit d'émission pour toute autre vitesse du vent. En revanche, le manuel d'introduction de la collection fournit l'équation qui permet d'établir le débit d'émission pour une vitesse de vent donnée à partir de la valeur pour une vitesse de 4,5 m/s.

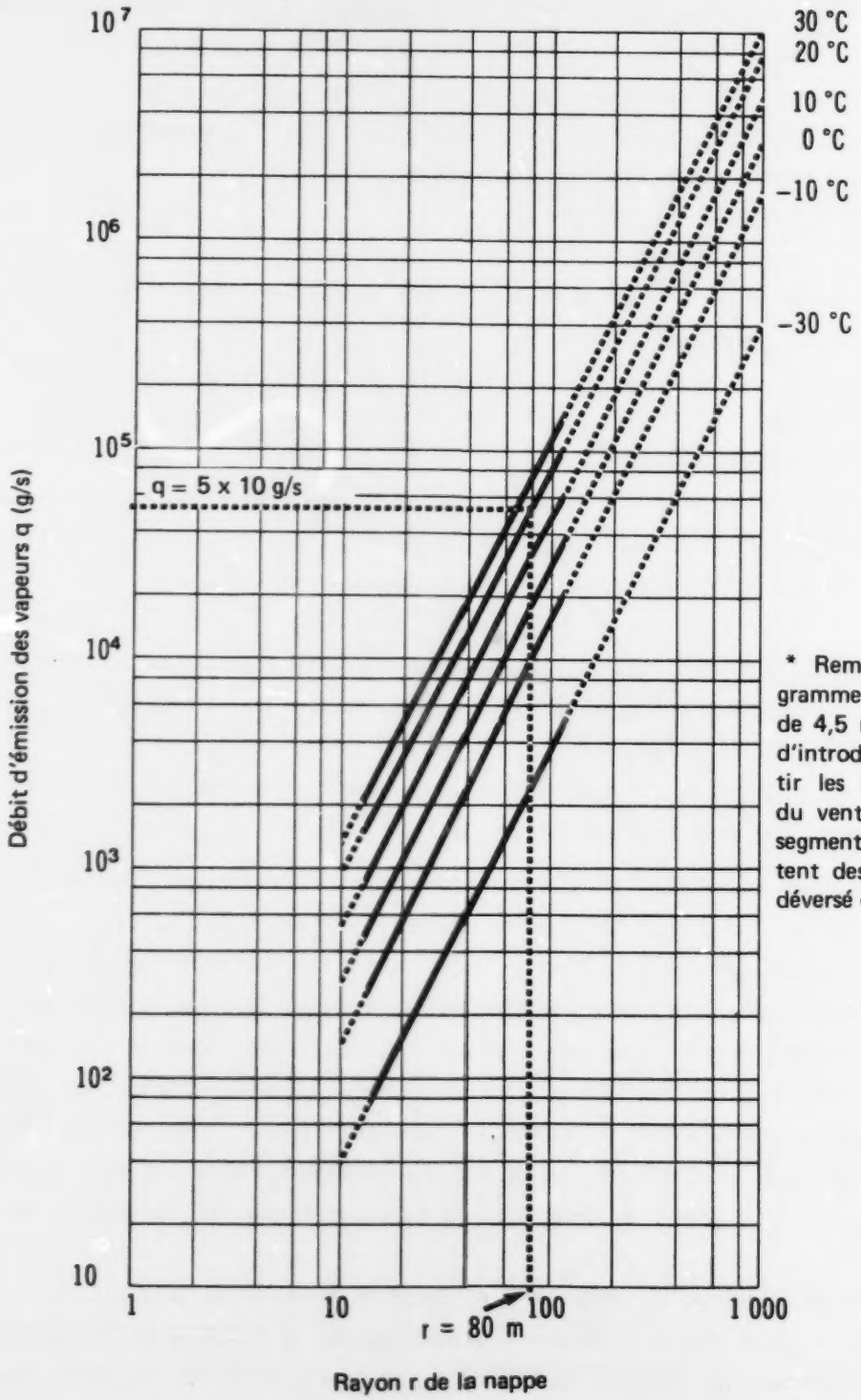
Le calcul du débit d'émission est basé sur le rayon d'une nappe à la surface d'un plan d'eau (étendue d'eau calme) (tableau VI, CHRIS, 1974). Comme un plan d'eau présente une surface plane et unie, ce qui est rarement le cas lorsqu'il y a un déversement sur terre (sol poreux et irrégulier), on obtient un rayon maximal, donc des valeurs maximales. Si l'on applique l'algorithme calculé pour un plan d'eau à un déversement sur terre, le rayon sera plus grand qu'en réalité et les valeurs obtenues seront celles qui s'appliquent à des cas extrêmes.

Tableau 6
Catégories météorologiques (de stabilité)

Catégorie F	Catégorie D
Vitesse du vent < 11 km/h (≈ 3 m/s) et l'une des conditions suivantes: ciel couvert durant le jour; nuit; forte inversion de température.	S'applique à toutes les autres conditions.

Figure 13

CYCLOHEXANE **DÉBIT D'ÉMISSION DES VAPEURS À DIFFÉRENTES TEMPÉRATURES* EN FONCTION DU RAYON DE LA NAPPE**



* Remarque. — Le nomogramme vaut pour un vent de 4,5 m/s. Voir le Manuel d'introduction pour convertir les valeurs si la vitesse du vent est différente. Les segments continus représentent des masses de liquide déversé de 0,05 à 62 tonnes.

5.3.2.2 Teneur en vapeurs en fonction de la distance sous le vent. - La figure 14 illustre la relation qui existe entre la teneur en polluant, à l'état de vapeurs, et la distance sous le vent pour les catégories météorologiques D et F. Le nomogramme a été établi à l'aide des modèles de diffusion décrits dans le manuel d'introduction de la collection. La teneur en vapeurs est représentée par la teneur uniformisée Tu/q au niveau du sol le long de la médiane du panache schématisé. La catégorie F est la moins propice à la diffusion du panache; la catégorie D est la plus fréquente presque partout au Canada. Il faut déterminer la catégorie appropriée (tableau 6) avant d'utiliser la figure 14.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

La distance maximale dangereuse du côté sous le vent x peut être déterminée à l'aide de la figure 14, si l'on possède les données suivantes:

Débit q d'émission des vapeurs, en g/s;

Vitesse du vent u, en (m/s);

Catégorie météorologique (de stabilité);

Teneur T dangereuse limite, soit la valeur la moindre entre 10 fois la TLV® (exprimée en g/m^3) et la limite inférieure d'inflammabilité (exprimée en g/m^3). À noter que pour convertir la TLV® (ppm) et la L.I.I. (pourcentage volumique) en teneurs exprimées en g/m^3, il faut utiliser les figures 15 et 16.

Une teneur dangereuse limite, égale à 10 x TLV®, a été choisie de façon arbitraire; elle représente une limite "relativement réaliste" au-delà de laquelle une exposition de courte durée (30 minutes) présente un danger pour la santé. La TLV® est une norme d'exposition de longue durée sur les lieux de travail. Si elle était utilisée comme teneur limite dangereuse, la zone dangereuse atteindrait des proportions démesurées.

5.3.2.3 Demi-largeur maximale du panache dangereux. - Le tableau 7 présente des valeurs de la demi-largeur maximale L/2 max. du panache pour une plage de valeurs q/u, en fonction des catégories météorologiques D et F. Ces valeurs ont été calculées à l'aide des modèles de diffusion expliqués dans le manuel d'introduction de la collection, en supposant une teneur dangereuse limite (ce qu'on appelle communément une teneur maximale admissible) égale à 10 fois la TLV® (soit 10 x 1,05 g/m^3 = 10,5 g/m^3). La demi-largeur du panache dangereux représente la demi-largeur du nuage de vapeurs, situé du côté sous le vent et atteignant une teneur égale à 10 x TLV®. Le tableau 7 ne s'applique donc que dans le cas de cette teneur limite de 10,5 g/m^3. À noter que la distance maximale considérée est de 100 kilomètres.

La catégorie météorologique D comporte une plage de vitesses du vent qui va de 3 à 30 m/s. Quant à l'éventail de débits d'émission q utilisé, qui va de 75 000 à 65 000 000 g/s, il correspond à un éventail de masses déversées comprises entre 40 et 10 000 tonnes respectivement. Si tout le contenu, soit 80 000 l (17 600 gal imp.) d'un wagon-citerne était

Figure 14

CYCLOHEXANE

TENEUR UNIFORMISÉE EN VAPEURS EN FONCTION DE LA DISTANCE SOUS LE VENT

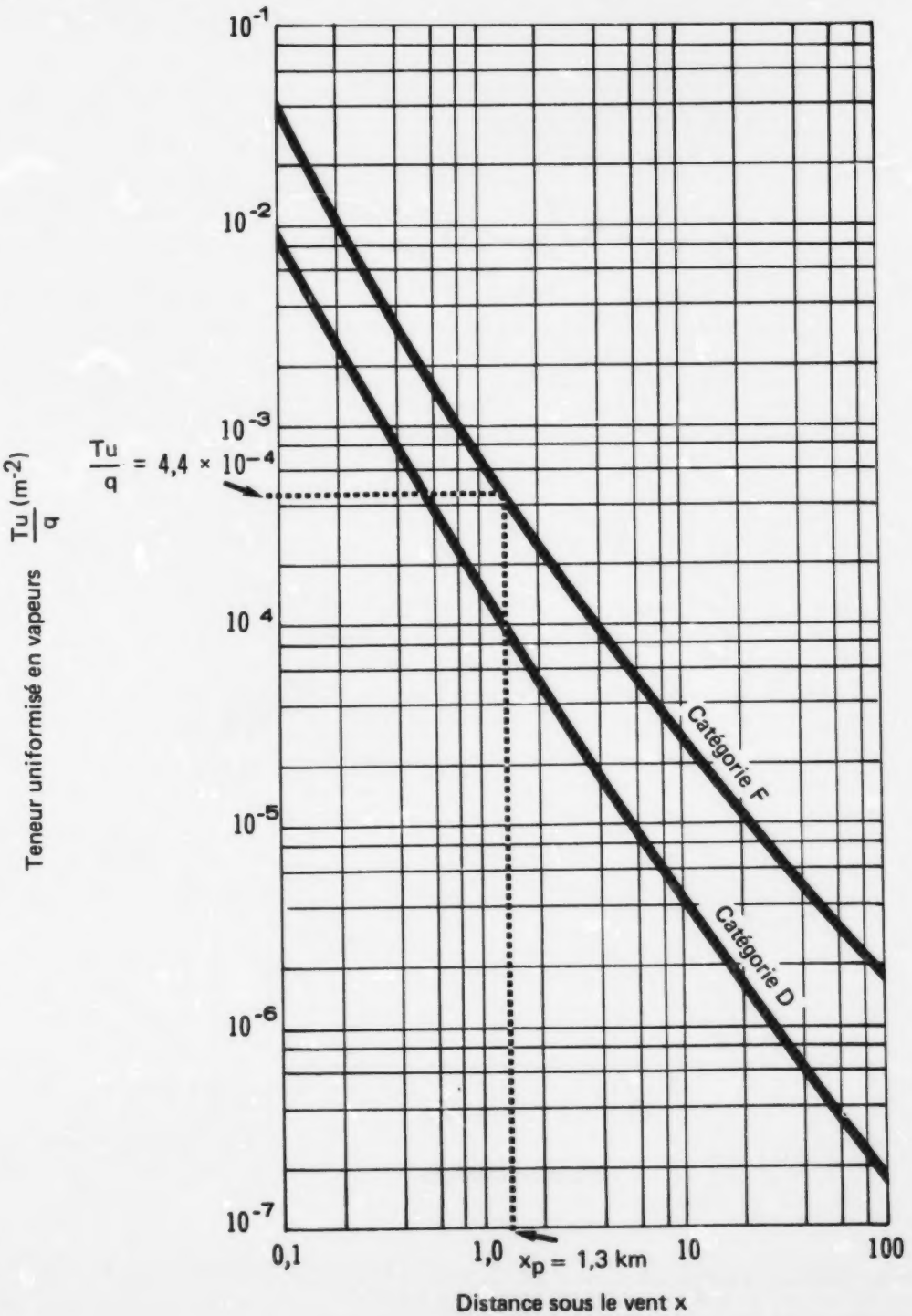
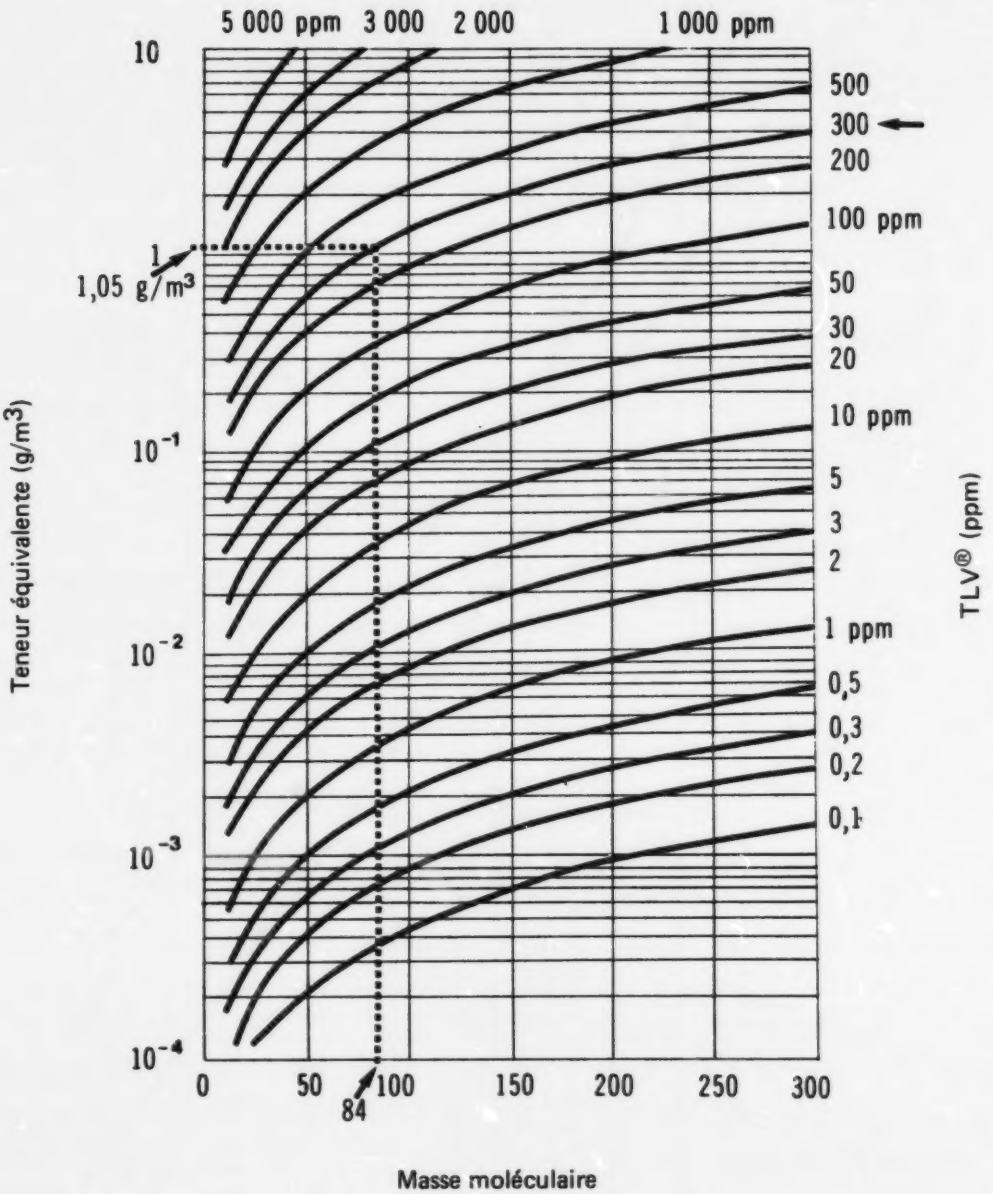


Figure 15

CYCLOHEXANE

CONVERSION EN g/m^3 DE LA TLV® (ppm en g/m^3)



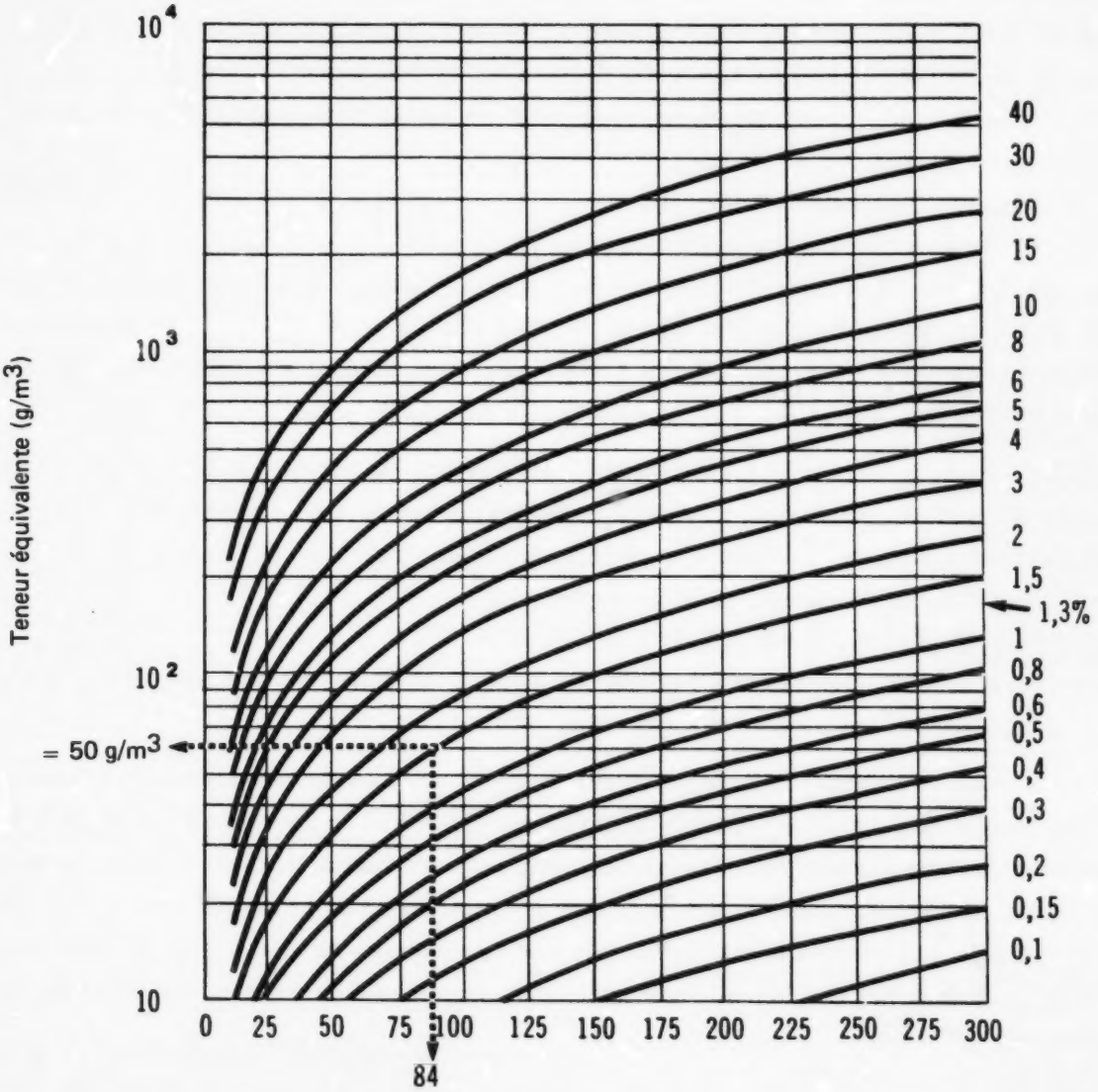
Exemple. — Masse moléculaire du cyclohexane = 84, TLV®= 300 ppm, alors TLV® en g/m^3 = 1,05

Note. — Ces données valent pour une température de 25 °C et une pression de Hg de 760 mm.

Figure 16

CYCLOHEXANE

CONVERSION EN g/m³ DU POURCENTAGE VOLUMIQUE DE LA LIMITE INFÉRIEURE D'INFLAMMABILITÉ



Exemple. — Masse moléculaire du cyclohexane = 84, L.I.I. = 1,3 %, alors L.I.I. en g/m³ = 50.

Note. — Ces données valent pour une température de 25 °C et une pression de Hg de 760 mm.

déversé, cela représenterait une masse de 62 300 kg (62 tonnes). Le tableau 7, pour la catégorie D, fournit des chiffres calculés en fonction de masses jusqu'à 160 fois plus considérables.

La catégorie météorologique F comporte une plage de vitesse du vent qui va de 1 à 3 m/s. Quant à l'éventail de débits d'émission q utilisé, qui va de 7500 à 6 500 000 g/s, il correspond à un éventail de masses déversées comprises entre 1 et 10 000 tonnes. Le tableau 7, pour la catégorie F, fournit des chiffres calculés en fonction de masses atteignant 160 fois celle que transporte un wagon-citerne standard.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

À partir de valeurs connues de q et de u et en fonction d'une catégorie météorologique donnée, calculez q/u. Choisissez la valeur q/u la plus proche fournie dans le tableau et la demi-largeur maximale correspondante, en mètres. Si vous désirez un résultat un peu plus précis, déterminez par interpolation les valeurs q/u et L/2 max. (Voir également l'exemple qui accompagne le tableau 7.)

5.3.2.4 Distance parcourue par le panache en fonction du temps écoulé. - La figure 17 indique la distance x parcourue par le panache après un temps *t* de déplacement, pour une vitesse de vent u donnée. Il s'agit de la représentation graphique de la relation $x_t = ut$ appliquée à un éventail de vitesses de vent courantes.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

La vitesse du vent u et le temps *t* de déplacement du panache étant connus, la distance x parcourue du côté sous le vent peut être obtenue.

5.3.3 Étapes du calcul. - L'exemple donné ci-dessous illustre les étapes à suivre dans le calcul qui permet de déterminer la zone dangereuse du côté sous le vent du lieu où se produit un déversement. L'utilisateur prendra note des limites des méthodes de calcul décrites dans le présent guide ou dans le manuel d'introduction de la collection. Les estimations ne valent que pour les conditions précisées. Il est souhaitable que l'utilisateur, dans un cas de déversement réel, se serve de données connues ou observables (par exemple en ce qui concerne le rayon de la nappe).

DONNÉES DU PROBLÈME

Au cours de la nuit, vers 2 h, 20 tonnes de cyclohexane ont été déversées sur un sol plat. Il est maintenant 2 h 05. La température est de 20 °C et le vent souffle du nord-ouest à une vitesse de 7,5 km/h. Déterminez la zone de vapeurs dangereuses.

ÉTAPES DU CALCUL

Étape 1 La masse *m* de liquide déversé est de 20 tonnes.

Étape 2 Calculer le rayon r de la nappe.

Utiliser le rayon mesuré sur place si cela est possible. Sinon, se servir de la fig. 20.

Tableau 7
Demi-largeur maximale du panache dangereux de vapeurs de cyclohexane (à 20 °C)

Catégorie météorologique D			Catégorie météorologique F		
q/u (g/m)	L/2 max. (m)		q/u (g/m)	L/2 max. (m)	
65 000 000	3180	(99,5 km)*	6 500 000	1465	(99,5 km)*
60 000 000	3025		5 000 000	1205	
50 000 000	2700		3 750 000	970	
25 000 000	1760		2 500 000	720	
20 000 000	1530		2 000 000	610	
15 000 000	1280		1 500 000	490	
10 000 000	1000		1 000 000	360	
5 000 000	650		750 000	300	
3 750 000	550		500 000	230	
2 500 000	435		250 000	150	
2 000 000	385		200 000	130	
1 500 000	325		150 000	110	
1 000 000	255		100 000	85	
750 000	215		75 000	70	
500 000	170		50 000	55	
250 000	115	q/u = 23 800 →	25 000	35	→ L/2 max. = 35 m
100 000	65		10 000	25	
75 000	60		5 000	15	
50 000	45		2 500	10	
25 000	30				
10 000	20		* Les valeurs de demi-largeur valent jusqu'à une distance de 100 km.		
5 000	15				
2 500	20				

Note. - Les valeurs ci-dessus valent pour une teneur de 10,5 g/m^3 (soit 10 x TLV®).
Exemple. - Une nappe de cyclohexane émet des vapeurs à un débit q = 5 x 10^4 g/s dans des conditions météorologiques de catégorie F; si la vitesse du vent u = 2,1 m/s, alors q/u = 23 800 g/m, ce qui donne une demi-largeur maximale L/2 max. du panache dangereux de 35 m.

Le rayon maximal ainsi obtenu s'applique à une nappe étalée sur l'eau; dans le cas d'un déversement sur le sol, cela donne une valeur démesurément grande.

r = 80 m ÷ 1000 m/km = 0,08 km.

Étape 3 Calculer le débit d'émission q à temp. = 20 °C.

r = 80 m et temp. = 20 °C; q = 5,0 x 10^4 g/s.

Étape 4 Déterminer la vitesse du vent u et sa direction *D*.

Utiliser l'information accessible sur les conditions météorologiques, de préférence à partir d'observations faites sur le terrain. Ici:

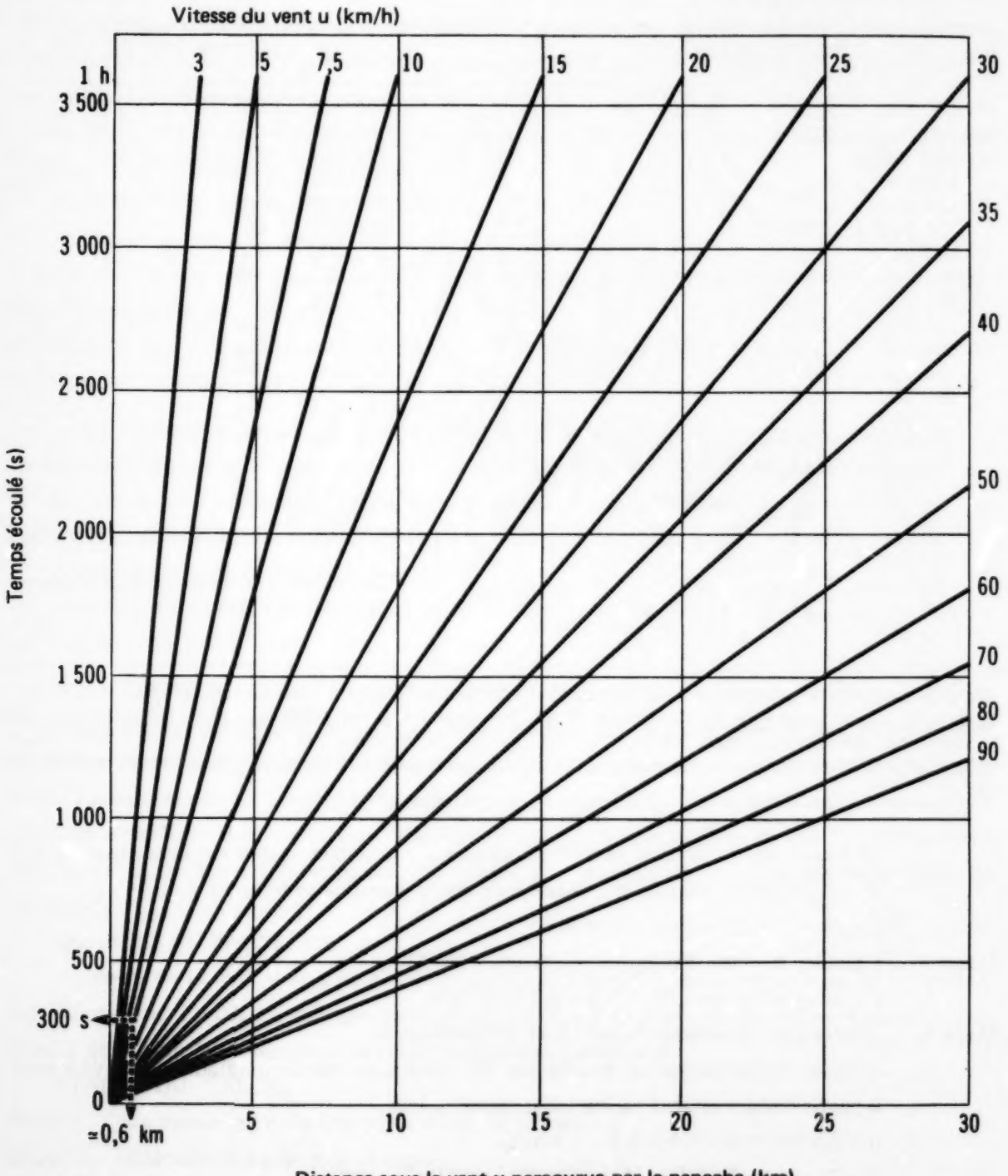
u = 7,5 km/h; u = 7,5 ÷ 3,6 = 2,1 m/s;

D = N.-O. ou 315° (*D* = direction d'où souffle le vent).

Figure 17

ÉXANE

DISTANCE PARCOURUE PAR LE PANACHE EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ



Étape 5 Déterminer la catégorie météorologique (de stabilité).

Le tableau 6 permet d'établir qu'il s'agit de la catégorie F, puisque u < 11 km/h et que le déversement survient au cours de la nuit.

Étape 6 Déterminer la teneur T dangereuse limite.

Il s'agit de la valeur la moindre entre 10 x TLV® et la limite inférieure d'inflammabilité dans le cas du cyclohexane, donc:

$T = 10{,}5\ g/m^3$ ($TLV® = 1{,}05\ g/m^3$; $L.I.I. = 50\ g/m^3$).

Étape 7 Calculer Tu/q.

$$Tu/q = \frac{10{,}5 \times 2{,}1}{5{,}0 \times 10^4} = 4{,}4 \times 10^{-4}\ m^{-2}.$$

Étape 8 Calculer la distance maximale dangereuse du côté sous le vent x à partir du point source p théorique.

Voir figure 14. Pour une catégorie F de conditions météorologiques, si $Tu/q = 4{,}4 \times 10^{-4}\ m^{-2}$, $x_p \simeq 1{,}3$ km.

Étape 9 Calculer la distance dangereuse maximale du côté sous le vent x à partir de l'aire source a.

Comme $x_p = 1{,}3$ km et $r = 0{,}08$ km,

$x_a = x_p - 10\,r = 1{,}3\ km - 10(0{,}08\ km) = 0{,}5$ km.

Étape 10 Calculer la demi-largeur maximale du panache dangereux.

Se servir du tableau 7. Comme $q = 5{,}0 \times 10^4$ g/s et $u = 2{,}1$ m/s,

$$q/u = \frac{5{,}0 \times 10^4}{2{,}1} = 23\,800\ g/m;$$

pour la catégorie F de conditions météorologiques, la valeur de q/u est de 25 000 g/m, ce qui donne une demi-largeur maximale de 35 m environ.

Étape 11 Déterminer le temps t écoulé depuis le début du déversement,

$t = 5$ mn x 60 s = 300 s.

Étape 12 Calculer la distance sous le vent x parcourue par le panache depuis le début du déversement.

Se servir de la figure 17. Comme t = 300 s et u = 7,5 km/h,

$x_t = 0{,}6$ km (plus précisément: ut = 2,1 m/s x 300 s = 630 m = 0,63 km).

Étape 13 Schématiser la zone dangereuse.

Former un rectangle dont deux des côtés opposés mesurent (chacun) deux fois la demi-largeur maximale du panache dangereux (35 m), alors que les deux autres côtés mesurent (chacun) l'équivalent de la distance maximale dangereuse sous le vent à partir de l'aire source, soit 0,5 km, et sont orientés dans la direction du vent (voir figure 18).

Si le vent ne fluctue que de 20° (315° ± 10°), le schéma de la zone dangereuse correspond à la figure 19.

Note. - Au cours des 5 minutes qui se sont écoulées depuis le début du déversement, le panache franchit 0,63 km, alors que la distance maximale dangereuse sous le vent n'est que de 0,5 km.

5.4 Comportement dans l'eau

5.4.1 Introduction. - Déversé dans l'eau, le cyclohexane s'étale à la surface et se vaporise en partie. En raison de sa faible miscibilité à l'eau, seule une très petite portion du produit se dissout dans l'eau; le reste s'évapore lentement jusqu'à ce qu'on l'enlève.

Pour les fins de préparation du nomogramme, la grandeur de la nappe à la surface de l'eau a été évaluée en supposant nulle la quantité de cyclohexane dissoute dans l'eau. On a toutefois tenu compte des pertes dues à l'évaporation.

La vitesse d'étalement du liquide à la surface de l'eau dépend de l'équilibre entre les forces qui favorisent l'étalement, telles la pesanteur et la tension superficielle, et celles qui lui sont contraires, comme l'inertie et la viscosité. La taille maximale de la nappe dépend cependant dans une large mesure du débit d'émission.

Les équations relatives à l'étalement de la nappe sur l'eau sont présentées dans le manuel d'introduction de la collection. Les nomogrammes sont établis en fonction d'une température de 20 °C, soit une valeur maximale raisonnable pour des corps flottant sur l'eau. Il est à souligner qu'à cette température la nappe atteindra des dimensions maximales.

5.4.2 Nomogramme d'étalement du polluant à la surface d'un plan d'eau. - La figure 20 vise à simplifier les calculs d'étalement sur une eau calme et à évaluer le temps nécessaire à une évaporation complète pour différentes quantités déversées; elle suppose une dissolution nulle.

Le nomogramme permet d'établir le rayon maximal de la nappe de cyclohexane pour une quantité déversée connue. Il a été établi à partir de données extraites du *Hazard Assessment Handbook* (CHRIS, 1974), ainsi que d'un modèle informatique étudiant l'étalement et l'évaporation simultanés d'un liquide déversé à la surface de l'eau (Raj, 1974). Les flèches sous la courbe indiquent le temps nécessaire à l'évaporation complète du liquide déversé. En raison des courtes durées en cause, nous n'avons pas tenu compte du temps total d'étalement de la nappe. La distance de dérive, due au vent ou à un courant de surface, n'a pas non plus été considérée.

5.4.3 Exemple de calcul. - Un déversement de 20 tonnes de cyclohexane s'est produit sur un lac de grandes dimensions. Calculer le rayon maximal de la nappe, en supposant une dissolution nulle, ainsi que le temps approximatif nécessaire à l'évaporation complète du liquide. Solution (voir fig. 20): pour une masse déversée égale à 20 tonnes, $r_{max.} = 85$ m; le temps nécessaire à une évaporation totale est d'environ 22 minutes.

Figure 18

CYCLOHEXANE

ZONE DANGEREUSE MAXIMALE SOUS UN VENT INVARIABLE
EXEMPLE DE PROBLÈME

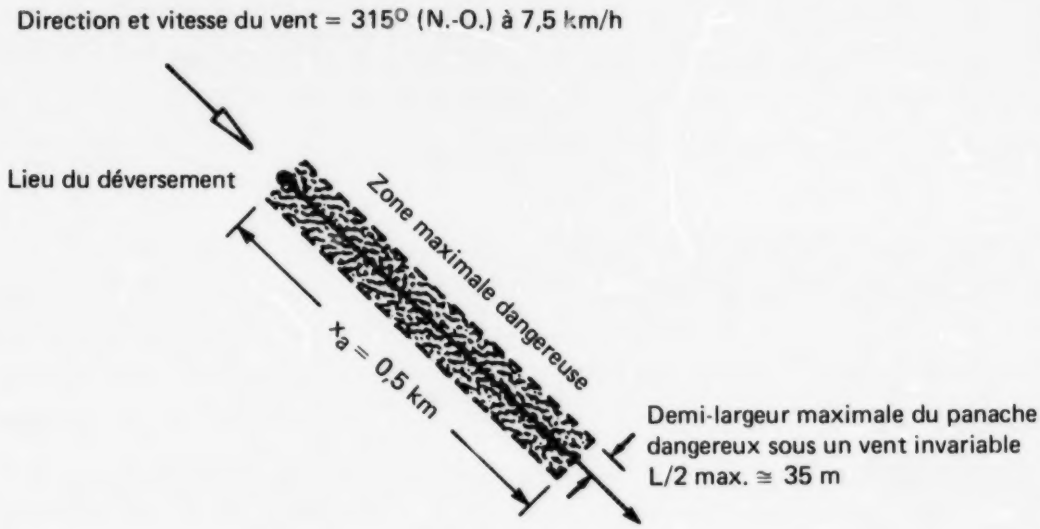


Figure 19

CYCLOHEXANE

ZONE DANGEREUSE MAXIMALE SOUS UN VENT VARIABLE
EXEMPLE DE PROBLÈME

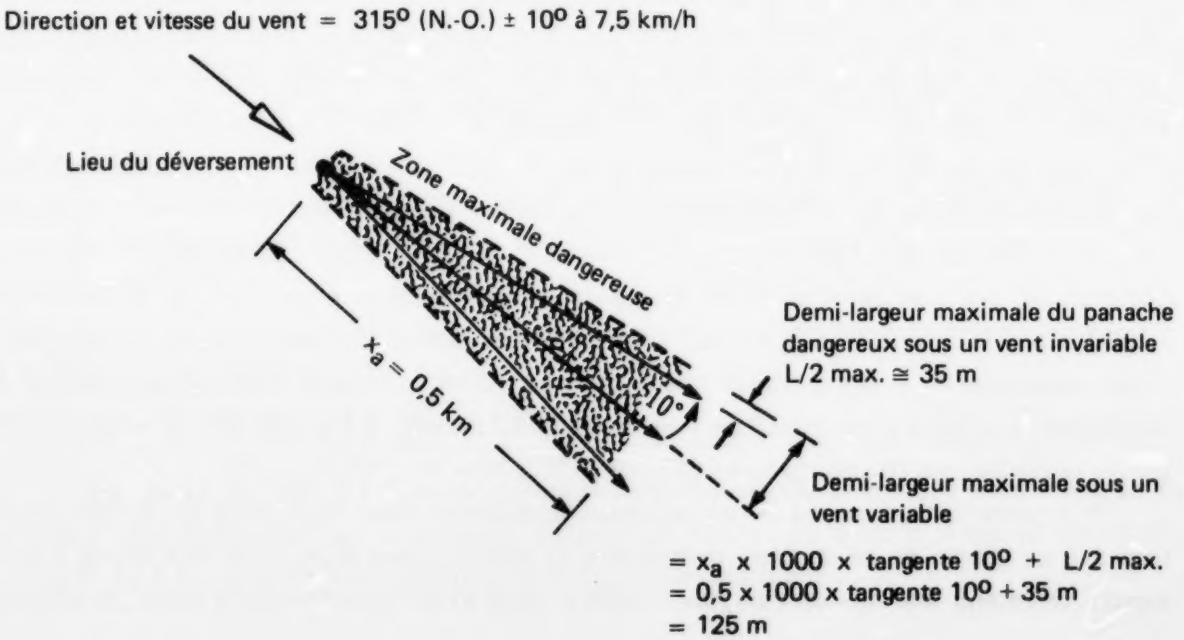
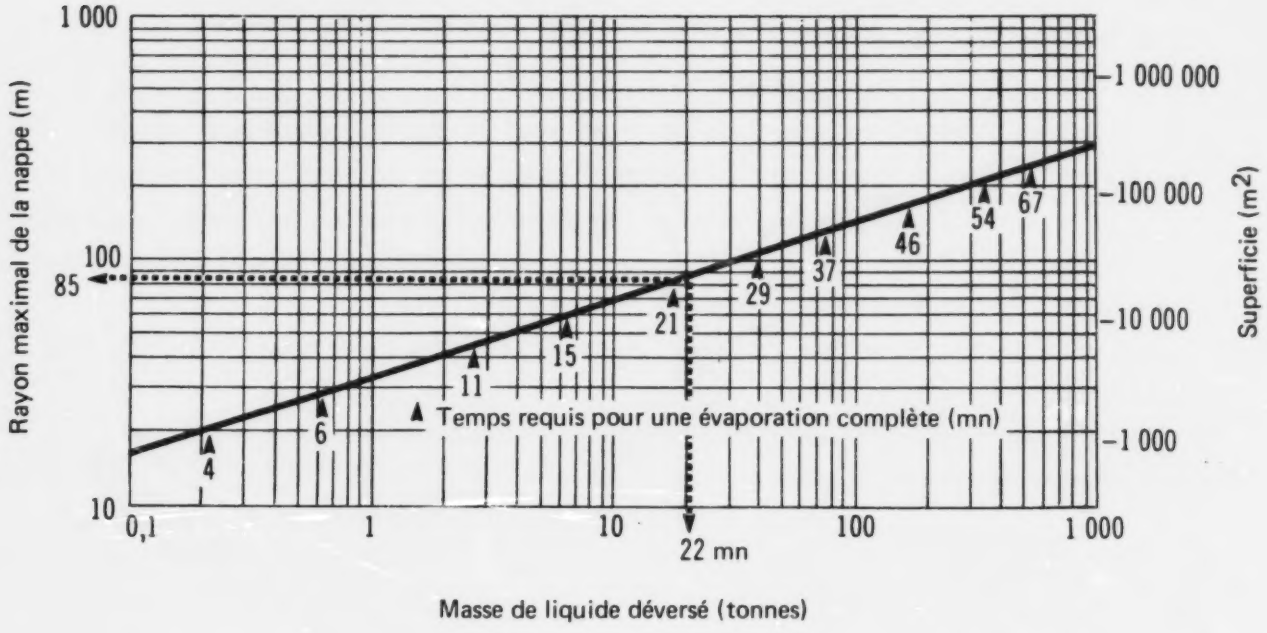


Figure 20

CYCLOHEXANE

RAYON MAXIMAL DE LA NAPPE EN FONCTION DE LA MASSE DE LIQUIDE DÉVERSÉ



5.5 Comportement dans le sol de surface et dans le sous-sol

5.5.1 Introduction. - Le cyclohexane étant peu miscible à l'eau, sa pénétration et sa migration dans le sol, en cas de déversement, s'effectuent selon un processus complexe. Nos préoccupations, de ce point de vue, portent sur le cyclohexane à l'état liquide, le sol, l'eau et les gaz ou vapeurs.

Le peu de données dont nous disposons ne permet pas une analyse détaillée de la migration du polluant dans des cas précis. Quelques recherches approfondies ont été effectuées, en particulier sur les déversements d'hydrocarbures et de BPC, mais l'information touchant le cyclohexane est très limitée. Nous devons nous en remettre à un modèle simplifié des conditions du sol et de la nappe d'eau souterraine, et établir le comportement du polluant à l'aide d'analogies avec des matières mieux connues. Ainsi, le modèle appliqué au mouvement descendant des fluides non miscibles comme le cyclohexane a été élaboré à partir de données sur les déversements d'hydrocarbures (Blokker, 1971; Freeze et Cherry, 1979).

On suppose qu'au moment du déversement la quantité d'eau dans le sol ne dépasse pas la capacité au champ de ce dernier, c'est-à-dire la quantité maximale d'eau que le sol est en mesure de retenir une fois tout surplus écoulé, et qu'il en est ainsi jusqu'à la nappe phréatique.

Le cyclohexane déversé pénètre dans le sol et commence sa migration. On croit qu'il descend à la manière d'un bloc saturant (écoulement piston) qui laisse néanmoins sur son passage une quantité retenue constante S_0. La migration se poursuit jusqu'à ce que le volume de cyclohexane déversé par unité de surface B_0 et la quantité retenue dans le sol S_0 s'égalent. Le liquide peut aussi se répandre horizontalement sous l'effet de la migration capillaire. Si B_0 est supérieur au volume S_0 retenu dans le sol, l'excédent de cyclohexane s'étale comme une crêpe dans la frange capillaire. La zone polluée est donc constituée d'une "colonne" verticale et de couches horizontales recélant la quantité retenue de cyclohexane, comme on peut le voir à la figure 21.

5.5.2 Migration du polluant dans un sol à capacité au champ. - Les équations et les postulats utilisés pour déterminer la migration du polluant dans la zone non saturée, jusqu'à la nappe phréatique, sont présentés dans le *Manuel d'introduction Enviroguide*. Les vitesses de migration font intervenir la loi de Darcy, alors qu'on pose comme hypothèse la formation d'une colonne saturée en solution polluée, par suite d'un écoulement en bloc (ou écoulement piston).

5.5.3 Coefficient de perméabilité d'un sol saturé vis-à-vis du polluant. - Le coefficient de perméabilité K_0 (ou conductivité hydraulique) mesure la perméabilité d'un sol saturé donné vis-à-vis d'un fluide donné. K_0, qui s'exprime en m/s, est donné par la formule suivante:

$$K_0 = \frac{(\rho g)k}{\mu}$$

où: k = perméabilité intrinsèque du sol (m^2)

ρ = masse volumique du fluide (kg/m^3)

μ = viscosité absolue du fluide (Pa . s)

g = accélération de la pesanteur = 9,81 m/s^2

Les valeurs établies pour le cyclohexane, en fonction d'une température de 20 °C, figurent dans le tableau ci-dessous.

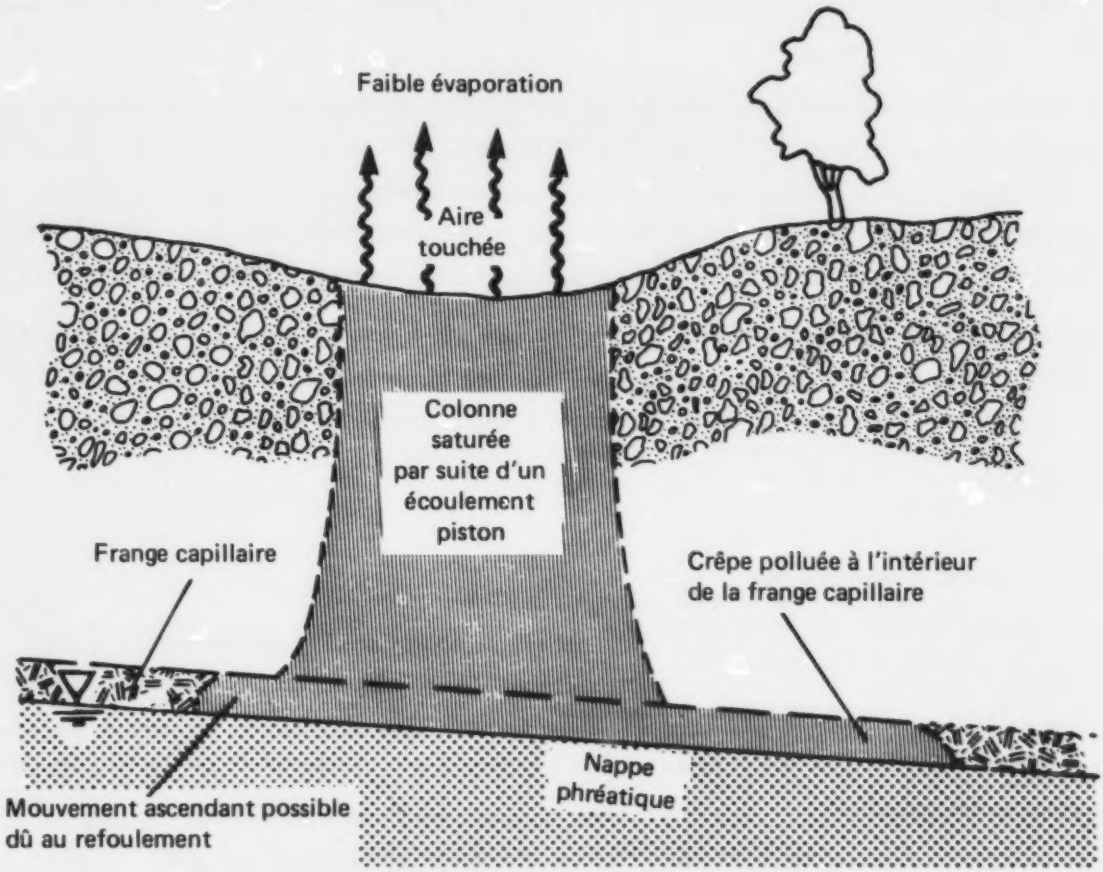
Valeurs établies pour le cyclohexane

Paramètre	20 °C
Masse volumique (kg/m^3)	779
Viscosité absolue (Pa . s)	$0{,}94 \times 10^{-3}$
Coefficient de perméabilité du sol saturé (m/s)	$(8{,}1 \times 10^6)k$

5.5.4 Types de sol. - Le *Manuel d'introduction Enviroguide* décrit les trois types de sol retenus pour les besoins de la présente section. Le tableau ci-dessous présente les valeurs établies pour les propriétés qui influent sur la migration des fluides.

Figure 21

CYCLOHEXANE — MIGRATION DANS LE SOUS-SOL



Sol: sable grossier
Porosité = 0,35
Perméabilité intrinsèque = 10^{-9} m^2
Capacité au champ = 0,075

Valeurs établies pour les sols

Propriété	Sable grossier	Sable limoneux	Till argileux
Porosité (m^3/m^3)	0,35	0,45	0,55
Perméabilité intrinsèque (m^2)	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}
Capacité au champ (m^3/m^3)	0,075	0,3	0,45
Fraction retenue (m^3/m^3)	0,05	0,1	0,2

5.5.5 Nomogrammes de la migration. - Un nomogramme de la migration du cyclohexane dans la couche de sol non saturée (c.-à-d. à capacité au champ) située au-dessus de la nappe phréatique a été préparé pour chaque type de sol mentionné. Chaque nomogramme montre la hauteur totale de migration h_m en fonction du temps de migration pour un volume donné de fluide déversé au sein d'une colonne de sol d'une superficie donnée. Vu les méthodes utilisées et les hypothèses posées, la profondeur atteinte par le fluide après un temps donné doit être considérée comme maximale. Le lecteur trouvera à la figure 22 le plan d'utilisation des nomogrammes présentés aux figures 23 à 25.

5.5.6 Exemple de calcul. - Vingt tonnes de cyclohexane se sont répandues sur un sol constitué de sable grossier. L'aire touchée a un rayon de 8,6 m. La température atteint 20 °C. Calculer la hauteur de migration atteinte par le fluide, 12 mn après le début du déversement.

Étape 1 Déterminer la valeur des paramètres.

Masse de fluide déversée = 20 000 kg (20 tonnes)

Température = 20 °C

Masse volumique = 779 kg/m^3

Temps écoulé depuis le moment du déversement = 12 mn

Étape 2 Évaluer la hauteur de migration.

Hauteur de migration = 5,8 m dans le cas du sable grossier (fig. 23).

Figure 22

CYCLOHEXANE

PLAN D'UTILISATION DES NOMOGRAMMES

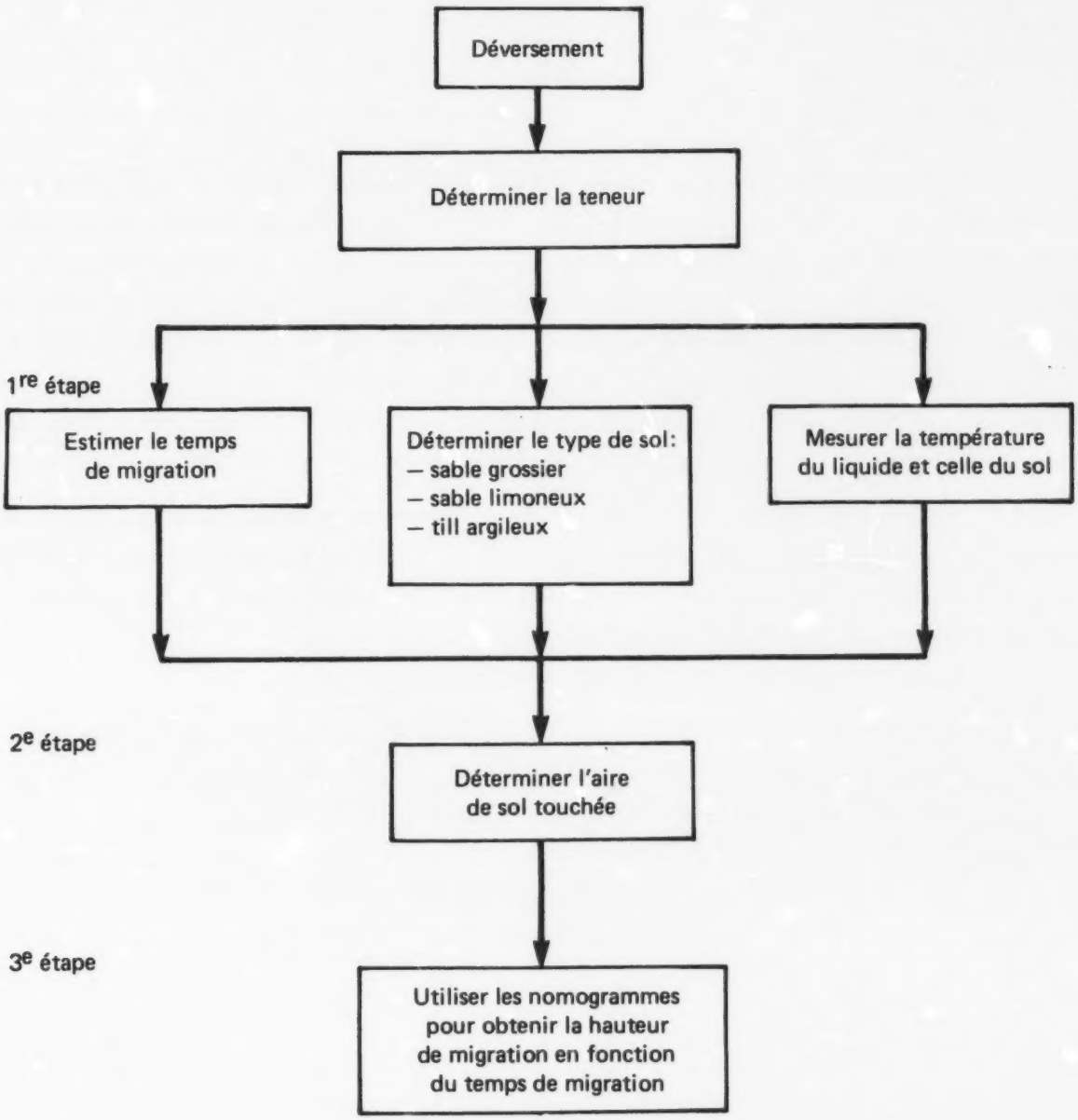


Figure 23

CYCLOHEXANE

MIGRATION DANS UN SABLE GROSSIER

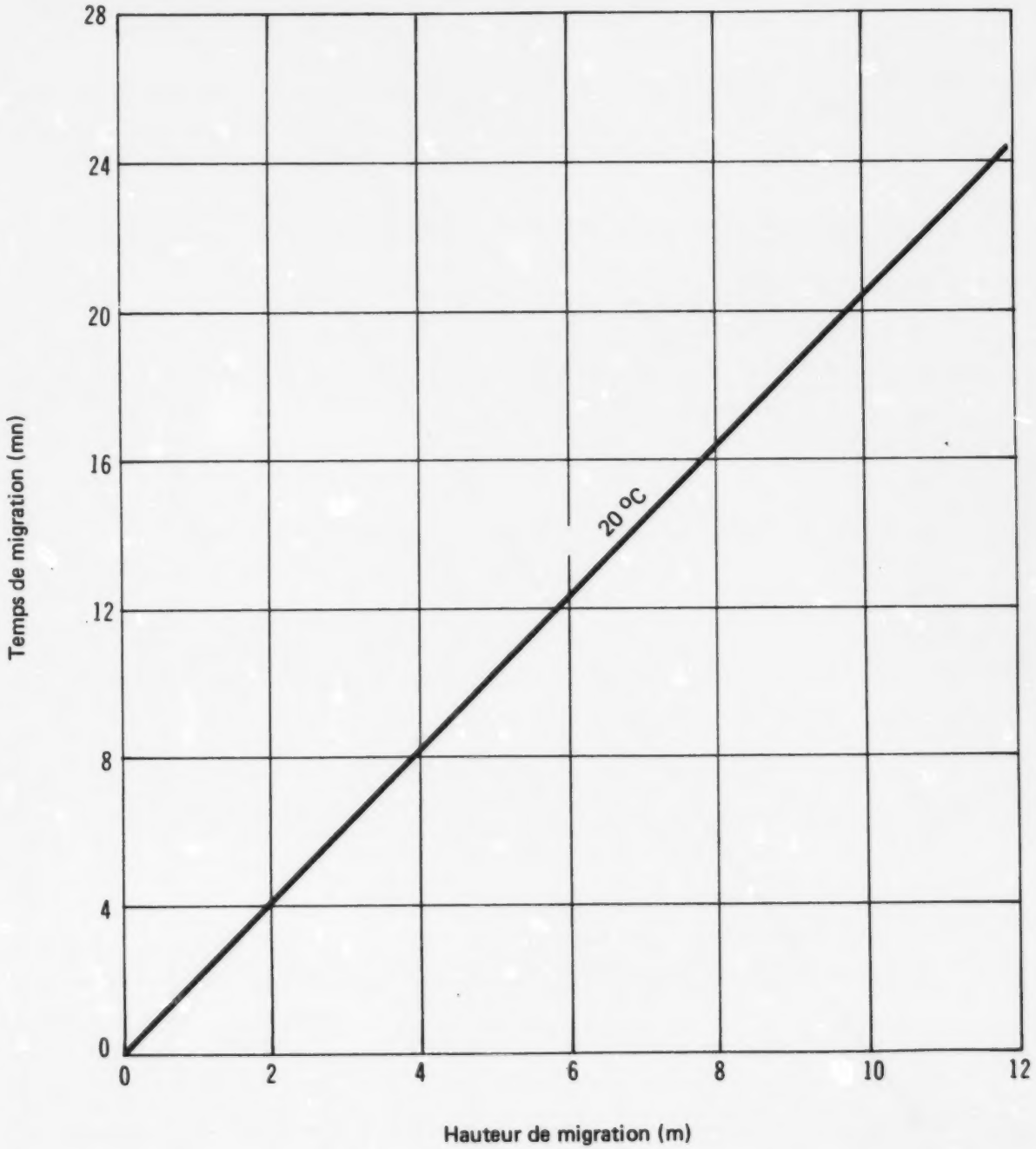


Figure 24

CYCLOHEXANE

MIGRATION DANS UN SABLE LIMONEUX

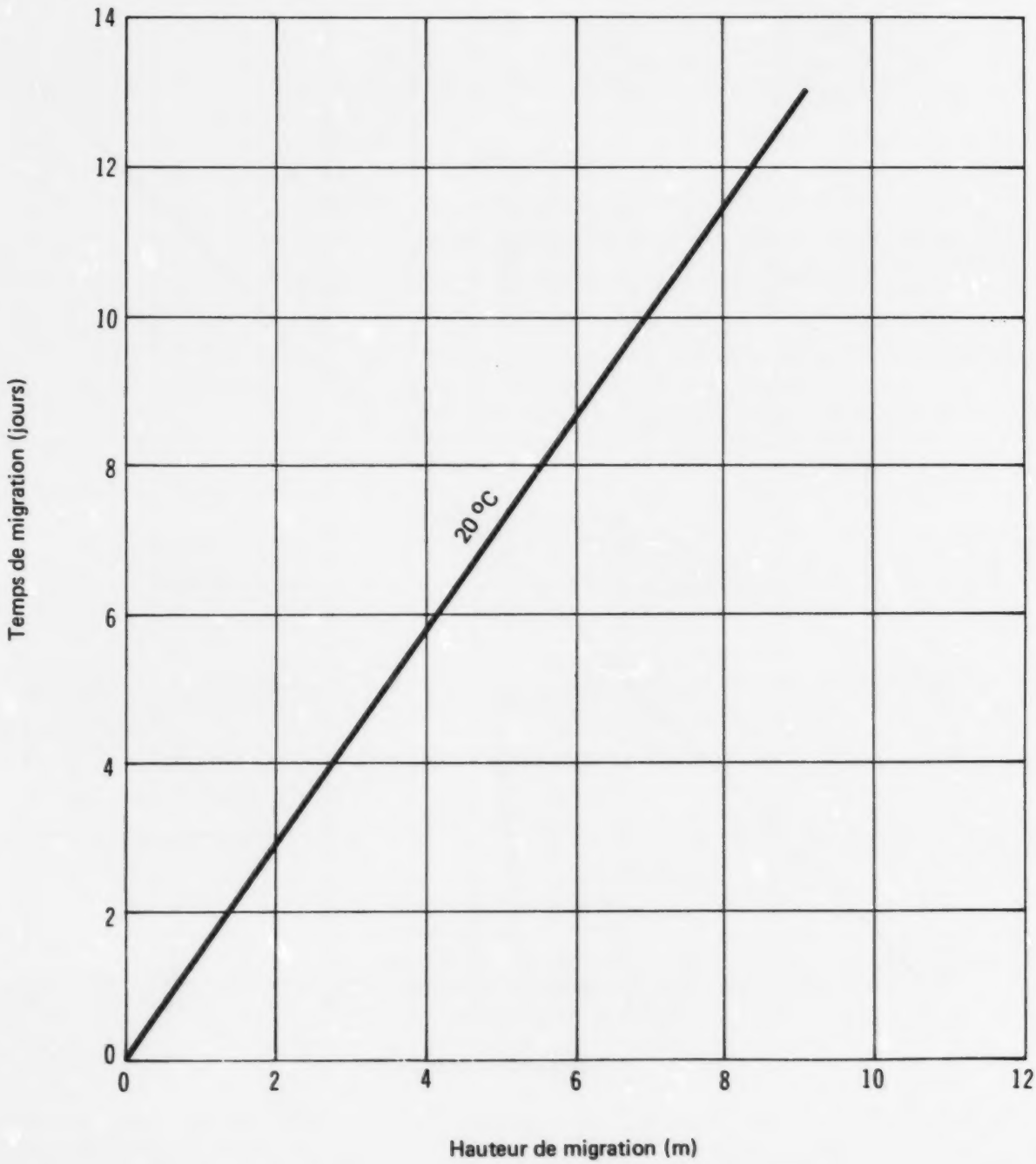
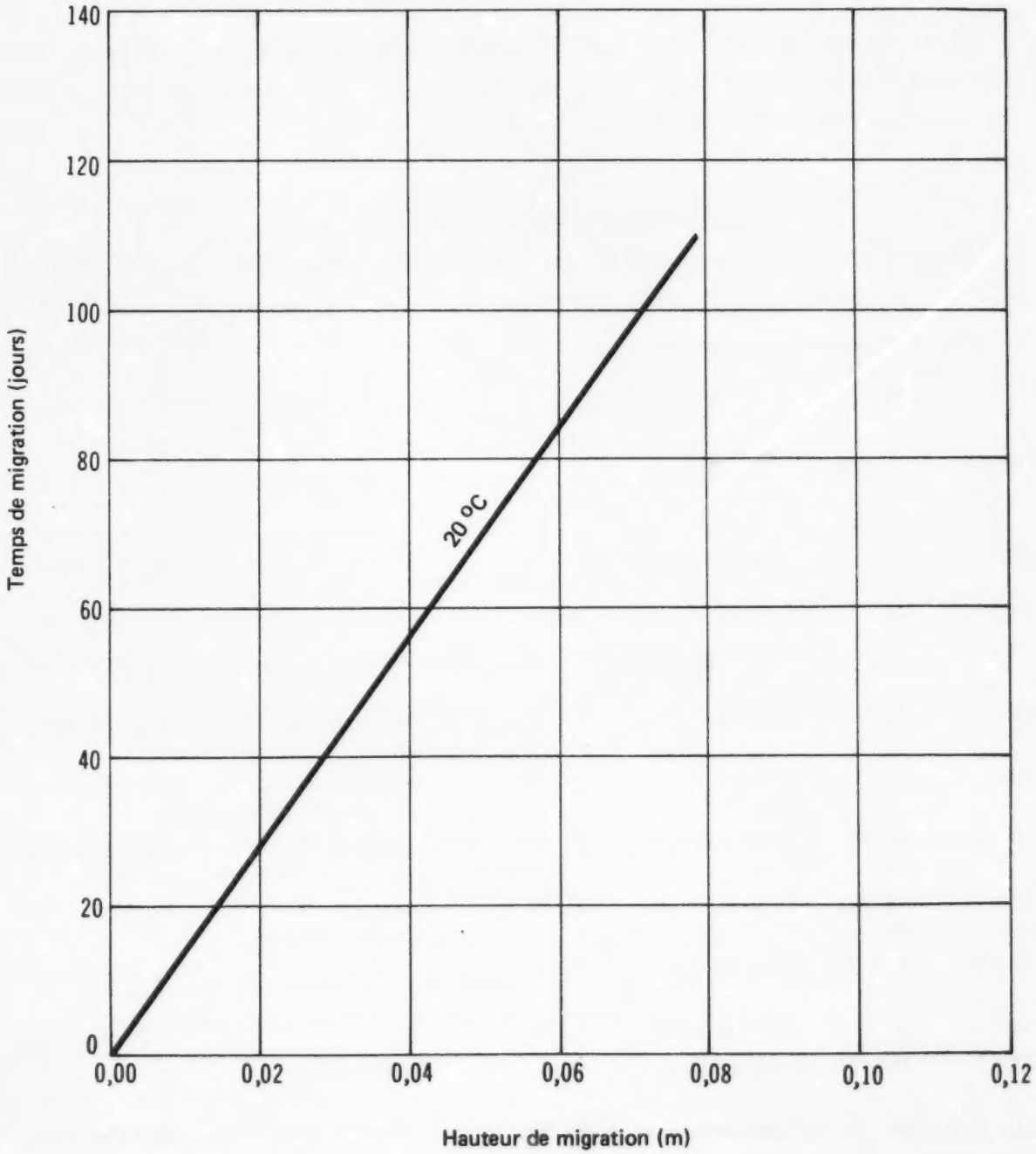


Figure 25

CYCLOHEXANE

MIGRATION DANS UN TILL ARGILEUX



6 PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

6.1 Limites maximales admissibles

6.1.1 Qualité de l'eau. - Aucune teneur limite n'a été fixée au Canada. Une teneur de 0,1 mg/l est considérée comme toxique en URSS (Verschueren, 1984).

6.1.2 Qualité de l'air. - La teneur limite aux postes de travail, ou TLV®, est fixée à 1050 mg/m^3 (pour huit heures), mais aucune teneur limite en matière de pollution atmosphérique n'a été recommandée.

6.2 Toxicité pour les espèces aquatiques

6.2.1 Évaluation de la toxicité aux USA. - La tolérance moyenne pour 96 heures (TLm 96) au cyclohexane correspond à des teneurs variant entre 10 et 100 ppm (RTECS, 1979).

6.2.2 Mesures de la toxicité

Toxicité pour les poissons d'eau douce

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
42,3	24	Crapet arlequin	TLm	25 °C	Middlebrooks, 1973
31	96	Crapet arlequin	TL 50		WQCDB, 1971
34,7	96	Crapet arlequin	TLm	25 °C	Middlebrooks, 1973
95	24	Tête-de-boule	TL 50	Statique; 18-22 °C; eau du lac Supérieur	Mattson, 1976
126	24	Tête-de-boule	TL 50	Statique; 18-22 °C; eau reconstituée	Mattson, 1976
93	48, 72, 96	Tête-de-boule	TL 50	Statique; 18-22 °C; eau du lac Supérieur	Mattson, 1976
117	48, 72, 96	Tête-de-boule	TL 50	Statique; 18-22 °C; eau reconstituée	Mattson, 1976
32 à 43	24 à 96	Tête-de-boule	TL 50		Verschueren, 1984
30	96	Tête-de-boule	TL 50		Pickering, 1966
42,3	24 à 96	Poisson doré	TLm	25 °C; eau douce	Middlebrooks, 1973
33	96	Poisson doré	TL 50		WQCDB, 1971

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
57,7	24 à 96	Guppy	TLm	25 °C; eau douce	Middlebrooks, 1973
48	96	Guppy	TL 50		WQCDB, 1971
< 84	168	Guppy	TL 50		Verschueren, 1984

Toxicité pour les micro-organismes

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
50	Non précisée	Protozoaires (*Uronema parduczi*)	Seuil d'inhibition de la multiplication cellulaire		Verschueren, 1984

Toxicité pour les espèces marines

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
1 à 100	Non précisée	Larves de moules (*Mytilus edulis*)	Croissance accrue de 10 à 20 p. 100		Verschueren, 1984
100	96	Jeune saumon coho	Taux de mortalité 8 °C non significatif		Verschueren, 1984

6.3 Toxicité pour les mammifères

La teneur létale moyenne (TL 50) chez les souris se situe à 18 000 ppm après une heure. Dans le cas des lapins, la dose maximale tolérée s'établit à 786 ppm sur une période de dix semaines (Verschueren, 1984).

La dose de toxicité aiguë, basée sur la dose létale moyenne (DL 50) administrée à des mammifères par voie orale, est de l'ordre de 2500 à 5000 mg/kg de poids du corps; des rats

ayant reçu une dose de 400 mg/kg ont subi une réduction des activités cholinestérasique et catalatique (WQCDB-1, 1970).

6.4 Toxicité pour d'autres espèces

Les nappes de cyclohexane constituent une menace pour les oiseaux aquatiques (OHM-TADS, 1981).

6.5 Dégradation du polluant

Le cyclohexane n'est pas sujet à une biodégradation rapide, mais il se volatilise vite lorsqu'il est présent dans l'eau (OHM-TADS, 1981). En eau salée, sa demande biologique en oxygène atteint 2,39 sur une période de 25 à 35 jours; et sa demande totale, 3,42 (dans un rapport de poids à poids dans les deux cas). Une étude sur la biodégradation du cyclohexane dans la nappe d'eau souterraine mentionne un taux de 45 p. 100 après 192 heures, pour une teneur initiale de 0,12 ml/l (Verschueren, 1984). Le produit se dégrade en cyclohexanol, puis en cyclohexanone, en oxy-heptanes et hexanes et, enfin, en acide adipique (Verschueren, 1984).

6.6 Devenir et effets à long terme

En dépit d'une subsistance possible du produit dans l'environnement, aucun cas de bioconcentration ou de bio-amplification n'a été signalé. La demi-vie du cyclohexane dans l'atmosphère est d'environ 7 heures pour une teneur initiale de 10 ppm (Jorgensen, 1979).

7 PROTECTION DE LA SANTÉ

Le cyclohexane est considéré comme faiblement toxique (MCA, 1957; Doc. TLV, 1981) et ses effets sont généralement locaux. Il peut toutefois agir comme un narcotique (Patty, 1981) et un dépresseur du système nerveux central; de plus, sa présence dans l'air ou dans l'eau semble difficile à déceler. Le cyclohexane de qualité solvant contient souvent du benzène (MCA, 1957).

Aucun rapport sur la toxicité du cyclohexane n'a été publié récemment, et les auteurs n'ont trouvé aucune monographie ni étude toxicologique sur ses pouvoirs cancérigènes ou tératogènes. Le produit est répertorié dans le *TSCA Inventory* de l'EPA. L'information toxicologique résumée dans le tableau ci-dessous provient de sources faisant autorité et reflète l'état des connaissances dans le domaine.

7.1 Normes d'exposition

Les limites adoptées visent surtout à prévenir l'effet narcotique du produit et son action sur le système nerveux, et sont moins efficaces dans la prévention de ses effets irritants (Doc. TLV, 1981). Les normes provinciales sont semblables à celles de l'ACGIH étatsunienne, sauf indication contraire.

Limites maximales admissibles

Norme	Origine	Teneur admissible	Source
	Moyenne pondérée en fonction du temps		
TLV® (8 h)	ACGIH	300 ppm (1050 mg/m^3)	TLV, 1983
PEL (8 h)	OSHA	300 ppm (1050 mg/m^3)	NIOSH/OSHA, 1981
	Exposition de courte durée		
STEL (15 mn)	ACGIH	375 ppm (1300 mg/m^3)	TLV, 1983

Autres aspects de la toxicité pour l'homme

Notion	Origine	Teneur dangereuse	Source
IDLH	NIOSH/OSHA	10 000 ppm	NIOSH Guide, 1978

Indice de toxicité par inhalation. - L'indice de toxicité par inhalation (I.T.I.) représente une mesure de la capacité d'une substance de causer un dommage par suite d'une inhalation. On le calcule de la façon suivante:

I.T.I. = 1315,12 (pression de vapeur en mm de Hg/TLV®)

à 25 °C, I.T.I. = 1315,12 (99,8 mm de Hg/300 ppm)

à 25 °C, I.T.I. = $4,37 \times 10^2$

7.2 Données sur l'action irritante

7.2.1 Contact avec la peau

Exposition	Effets	Source
• CHEZ L'HOMME		
Non précisée	Des expositions prolongées ou répétées peuvent provoquer des éruptions cutanées.	NIOSH/OSHA, 1981
300 ppm	Irritation de la peau et des yeux.	Verschueren, 1984
• CHEZ LE LAPIN		
1548 mg (2 jours, de façon intermittente)	Irritation	RTECS, 1979

7.2.2 Contact avec les yeux

Exposition	Effets	Source
• CHEZ L'HOMME		
5 ppm	Irritation	RTECS, 1979

7.3 Données sur les propriétés organoleptiques

7.3.1 Odeur. - Le cyclohexane a une odeur piquante (Doc. TLV, 1981), douce et agréable, semblable à celle du chloroforme (MCA, 1957).

Valeur du seuil de perception: 203 000 (Verschueren, 1984).

Paramètre	Milieu	Teneur	Source
Seuil de perception	air	0,32 à 370 ppm	Verschueren, 1984
Seuil d'identification	air	32 ppm	Verschueren, 1984
Teneur seuil	air	25 ppm	Amoore, 1983
Teneur seuil	eau	0,011 ppm	Amoore, 1983

7.3.2 Saveur. - Aucune donnée n'a été obtenue.

7.4 Études sur les effets toxiques

7.4.1 Inhalation

Exposition	Effets	Source
	Exposition de courte durée	
• CHEZ L'HOMME		
500 000 ppm	Peut provoquer une perte de connaissance rapide. Mort possible en cas d'insuffisance respiratoire.	MCA, 1957
13 000 ppm	Étourdissements avec nausées et vomissements. Produit dans certains cas une légère stimulation, semblable à celle que provoque un anesthésique.	MCA, 1957
300 ppm	Son odeur peut être détectée; irritation légère des yeux et des muqueuses.	Doc. TLV, 1981
• CHEZ LE LAPIN		
26 600 ppm (1 h)	Mort	Doc. TLV, 1981
18 500 ppm (8 h)	Aucune mortalité	Doc. TLV, 1981
12 600 ppm	Léthargie, narcose, augmentation de la fréquence respiratoire et convulsions	Doc, TLV, 1981
3300 ppm	Aucun effet	Doc. TLV, 1981
• CHEZ LA SOURIS		
18 000 ppm (1 h)	TL 50	AAR, 1981

7.4.2 Ingestion (courte période)

Exposition	Effets	Source
• CHEZ L'HOMME		
19,5 mg/kg	Dose maximale proposée administrée par voie orale	AAR, 1981
• CHEZ LES MAMMIFÈRES		
2500 à 5000 mg/kg	DL 50	RTECS, 1979

Exposition	Effets	Source
• CHEZ LE LAPIN		
5500 mg/kg	DL min.	RTECS, 1979
• CHEZ LE RAT		
29 820 mg/kg	DL 50	RTECS, 1979
5600 mg/kg	DL 50 (jeunes rats)	AAR, 1981
1297 mg/kg	DL 50	RTECS, 1979
813 mg/kg	DL min.	AAR, 1981
83 mg/kg	DL min.	AAR, 1981

7.4.3 Administration par voie intraveineuse

Exposition	Effets	Source
• CHEZ LE LAPIN		
77 mg/kg	DL min.	RTECS, 1979

7.4.4 Mutagénicité, tératogénicité et carcinogénicité. - Un test avec des salmonelles n'a permis de déceler aucun effet mutagène; le taux de réversion fut inférieur à 0,0006 par nanomole (Verschueren, 1984).

7.5 Symptômes et conséquences de l'intoxication

Aucune référence n'est donnée pour les symptômes de nature courante signalés dans la plupart des ouvrages de consultation. Seule la mention des symptômes ou troubles de nature particulière ou inhabituelle est suivie d'une indication de source.

7.5.1 Inhalation

1. Irritation des yeux et des muqueuses (Doc. TLV, 1981)
2. Étourdissements
3. Nausées
4. Vomissements
5. Dépression du système nerveux central (MCA, 1957)
6. Perte de connaissance (CHRIS, 1978)
7. Insuffisance respiratoire
8. Mort (MCA, 1957)

7.5.2 Ingestion

1. Étourdissements (AAR, 1981)
2. Nausées
3. Vomissements
4. Perte de connaissance (AAR, 1981)

7.5.3 Contact avec la peau

1. Inflammation
2. Dermatite grave en cas de contact prolongé (AAR, 1981)

7.5.4 Contact avec les yeux

1. Irritation (AAR, 1981)

8 COMPATIBILITÉ CHIMIQUE

8.1 Compatibilité entre le cyclohexane et divers agents

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition brutale	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
En général														
Feu		●	●										Liquide inflammable, risque modéré d'explosion	Sax, 1979
Chaleur		●												Sax, 1979
Corps														
Dioxyde d'azote			●										En présence de dioxyde d'azote liquide	NFPA, 1978
Tétraoxyde d'azote			●										En présence de cyclohexane chaud	Bretherick, 1979
Groupes de corps														
Oxydants	●	●												EPA, 600/2-80-076

9 MESURES D'INTERVENTION ET DE SÉCURITÉ

9.1 Mesures recommandées

Les brefs exposés qui figurent dans la présente section sont repris des ouvrages sur lesquels a porté notre enquête bibliographique. Leur formulation d'origine a été respectée pour éviter toute déformation de sens; ce faisant, il a été impossible d'empêcher que n'apparaissent des divergences entre les sources d'information. En fait, les divergences au sujet de mesures qui s'appliquent à des cas particuliers ne sont qu'apparentes, l'information pouvant être correcte ou non selon la situation. Le lecteur notera que la mention d'une mesure ne constitue d'aucune façon une recommandation de la part d'Environnement Canada.

9.1.1 Danger d'incendie. - Le cyclohexane est un liquide hautement inflammable. Ses vapeurs forment facilement un mélange explosif dans l'air et peuvent ramper au ras du sol jusqu'à des sources d'inflammation éloignées et produire des retours de flamme. Le cyclohexane est susceptible, en brûlant, de dégager du monoxyde de carbone, une substance toxique (GE, 1978). Le récipient risque d'exploser dans la chaleur de l'incendie (ERG, 1980).

9.1.2 Moyens d'extinction. - En cas d'incendie, refroidir les récipients à l'aide de jets d'eau pulvérisée pour éviter qu'ils n'éclatent ou n'explosent (ERG, 1980). L'eau pulvérisée peut cependant se révéler inefficace comme moyen d'extinction parce qu'elle accentue l'étalement du produit (NFPA, 1978).

Petit feu: poudre sèche, neige carbonique, pulvérisation d'eau, mousse anti-alcool.

Grand feu: pulvérisation ou brouillard d'eau, mousse anti-alcool.

Retirer les récipients de la zone d'incendie si cela ne présente aucun danger. Ne pas s'approcher des têtes des citernes. En cas d'incendie de grande surface, recourir à des lances-tourelles ou à des lances sur affût télécommandées (ERG, 1980).

9.1.3 Mesures d'intervention en cas de déversement

9.1.3.1 Information générale. - Arrêter ou ralentir la fuite du produit si cela ne présente aucun danger. Éliminer toute source d'inflammation. Éviter tout contact avec la peau et éviter d'inhaler (GE, 1978). L'utilisation d'eau légère pourrait permettre de réduire l'émission de vapeurs et le risque d'incendie (EPA 670/2-75-042). Cellosize et Hycar sont des sorbants dont l'emploi s'est révélé efficace pour éliminer les vapeurs et(ou) confiner la nappe (ICI, 1982).

9.1.3.2 Déversement sur le sol. - En cas de déversement d'une petite quantité, absorber le liquide à l'aide de vermiculite, de sable sec ou d'un autre sorbant que l'on enlèvera par la suite (GE, 1978). Si la quantité déversée est considérable, confiner le liquide à l'aide de barrages si cela est possible. Enlever le produit à l'aide de pompes ou d'un appareil aspirateur. On recommande de terminer le nettoyage en absorbant le reste du liquide au moyen de cendre volante, de ciment ou d'un autre sorbant (EPA 670/2-75-042).

9.1.3.3 Déversement dans l'eau. - Confiner le liquide déversé si possible, avec des barrières naturelles ou des barrages du type utilisé en cas de déversement d'hydrocarbures. Enlever le produit ainsi retenu au moyen de pompes, ou de matériel d'aspiration ou d'écrémage (EPA 670/2-75-042). On recommande de terminer le nettoyage par l'emploi de sorbants comme le charbon actif, la mousse de polyuréthane ou les fibres de polypropylène, pour éliminer toute trace de résidus (CG-D-38-76).

9.1.4 Nettoyage et traitement

9.1.4.1 Déversement dans l'eau. - Après avoir confiné le liquide déversé, l'enlever à l'aide de matériel d'écrémage ou d'aspiration anti-déflagrant (EPA 670/2-75-042).

9.1.4.2 Information générale. - On conseille d'épurer l'eau polluée en procédant à une séparation gravitaire, suivie d'une filtration sur lit double ou d'une adsorption sur charbon actif. La quantité de carbone recommandée est de 1,0 pour 10 kg de matières solubles. Les eaux résiduaires provenant des appareils de filtration et d'absorption sont retournées au séparateur. Dans certains cas, il suffira d'écrémer la surface de l'eau pour la nettoyer du cyclohexane qu'elle contient (EPA 600/2-77-277).

9.1.5 Élimination du polluant. - Les déchets de cyclohexane ne doivent jamais être rejetés directement dans les égouts ou les cours d'eau. On peut les incinérer.

9.1.6 Appareils et vêtements de protection. - Avant d'entrer dans une zone où ni le produit déversé ni ses propriétés chimiques ne sont connus, il faut revêtir un scaphandre résistant aux agents chimiques et porter un appareil respiratoire isolant. S'il s'avère que le produit déversé est du cyclohexane:

- L'équipe d'intervention doit porter des vêtements protecteurs, des visières pare-acide et des gants imperméables, afin d'éviter tout contact avec le produit (GE, 1978);
- Le port de lunettes anti-éclaboussures est recommandé (GE, 1978);
- Les vêtements et les gants en néoprène sont conseillés (DuPont, 1984);
- Les matériaux suivants offrent un temps de protection supérieur à 1 heure: nitrile, alcool de polyvinyle et Viton. Le polyéthylène chloré offre un temps de protection de 1 heure.
- Les matériaux suivants, enfin, offrent un temps de protection inférieur à 1 heure: caoutchouc butyle, caoutchouc naturel, chlorure de polyvinyle et caoutchouc enduit de néoprène (Little, 1983);
- On doit trouver sur les lieux de l'intervention des douches oculaires automatiques et des douches à fort débit (GE, 1978);
- Il est nécessaire de porter un respirateur homologué muni d'un masque couvre-visage lorsque la teneur en polluant est supérieure à la TLV®. Les respirateurs à cartouche (chimique) contre les vapeurs organiques peuvent être utilisés dans le cas de teneurs

inférieures à 1000 ppm. Les masques à gaz avec boîtier filtrant sont employés pour les teneurs comprises entre 1000 et 10 000 ppm. Lorsque la teneur est plus élevée ou inconnue, il est nécessaire de porter un respirateur à adduction d'air ou un appareil respiratoire isolant (GE, 1978).

9.1.7 Entreposage. - Le cyclohexane doit être stocké dans des récipients hermétiques et entreposé dans un local frais et bien ventilé, loin des sources de chaleur et d'inflammation et des oxydants énergiques. En cas de transvasement, les récipients doivent être mis à la masse et à la terre afin de prévenir les étincelles d'électricité statique. Les petites quantités de cyclohexane doivent être conservées dans des bidons de sécurité (GE, 1978).

10 CAS DE DÉVERSEMENT ACCIDENTEL

10.1 Information générale

Le chapitre 10 donne en principe des renseignements qui permettent au lecteur de mieux comprendre le processus d'intervention et les mesures de lutte que requiert un déversement accidentel. Les cas rapportés sont choisis en fonction de certains critères; il ne faut pas voir dans le nombre de cas décrits une indication relative à l'ampleur ou à la fréquence des déversements.

Lorsqu'il y aura une nouvelle édition du présent guide, les auteurs procéderont à une mise à jour qui permettra de présenter dans ce chapitre toute information pertinente qui rendra compte du progrès des techniques d'intervention.

11 IDENTIFICATION ET DOSAGE DU POLLUANT

Les méthodes d'analyse utilisées pour l'identification et le dosage des polluants chimiques d'intérêt prioritaire sont expliquées dans les lignes qui suivent.

Les méthodes décrites et les références signalées ont été choisies en fonction d'analyses d'échantillons d'air, d'eau et de sol devant être faites dans un laboratoire de chimie doté d'un équipement standard, éloigné du lieu d'où proviennent les prélèvements. Les auteurs ont consulté les sources habituelles exposant les méthodes normalisées ou recommandées, et décrit sommairement celles qui s'appliquent à chaque produit chimique. Parmi ces sources, on compte des publications du National Institute for Occupational Safety and Health des États-Unis (NIOSH), de l'Environmental Protection Agency des États-Unis (EPA), de l'American Water Works Association, de l'American Society for Testing and Materials et de l'American National Standards Institute.

Lorsque les méthodes normalisées ou recommandées ont été jugées fiables et suffisamment spécifiques pour l'analyse des échantillons provenant des matières déversées et du milieu touché et lorsqu'elles ne nécessitaient pas un équipement de laboratoire hautement spécialisé, nous n'avons pas cherché plus loin. Enfin, lorsque nous avons découvert des tests simples et fiables, couramment utilisés dans l'industrie, nous les avons signalés.

11.1 Dosage du polluant présent dans l'air (analyse quantitative)

11.1.1 Chromatographie en phase gazeuse (NIOSH, 1977). - Cette méthode est efficace pour des teneurs en cyclohexane de l'air variant entre 510 et 2010 mg/m^3 (148 à 584 ppm).

Un volume d'air déterminé est aspiré dans un tube de 7 x 0,6 cm contenant 2 filtres au charbon actif de granulométrie 20/40, séparés par une couche d'uréthane de 2 mm. Le premier contient 100 mg de charbon et le second, 50 mg. Un bouchon de laine minérale silylée est placé en avant du premier filtre. On recommande d'utiliser un échantillon de 2,5 litres, s'écoulant à un débit de 200 ml/mn.

Le tube est entaillé à la hauteur du premier filtre, et ouvert. Le filtre est transféré dans un récipient de 1 ml, fermé par un bouchon et contenant 0,5 ml de disulfure de carbone. On procède de la même façon avec l'autre filtre. L'échantillon doit être laissé à s'égoutter pendant 30 minutes.

Un prélèvement de 5 µl de l'échantillon est injecté dans un chromatographe en phase gazeuse muni d'un détecteur de flamme à ionisation. La teneur de l'échantillon est déterminée par un intégrateur électronique approprié mesurant l'aire de pic à l'aide d'une courbe d'étalonnage.

Les paramètres de fonctionnement d'un chromatographe en phase gazeuse sont les suivants: débit de l'azote porteur: 50 ml/mn; débit d'hydrogène: 65 ml/mn; débit d'air:

400 ml/mn; température de l'injecteur: 185 °C; température du détecteur: 255 °C; température de la colonne: 210 °C; cette colonne en acier inoxydable mesure 4 pi x 1/4 po et est bourrée de Porapak de granulométrie 50/80, type Q.

11.2 Identification du polluant présent dans l'air (analyse qualitative)

Le détecteur Drager permet d'identifier le cyclohexane présent dans l'air aux teneurs comprises entre 100 et 1500 ppm. Il fonctionne comme suit: l'air admis dans le tube de l'appareil fera passer de l'orange au brun verdâtre la couleur de la couche indicatrice, si cet air contient du cyclohexane. Le changement de couleur est dû à la réaction du cyclohexane avec l'acide chromique (Drager, 1979).

11.3 Dosage du polluant présent dans l'eau (analyse quantitative)

11.3.1 Spectrophotométrie à l'infrarouge (AWWA, 1981). - Ce procédé permet de mesurer les teneurs en cyclohexane de l'eau comprises entre 40 et 400 ppm. Ces limites peuvent diminuer d'après la teneur de l'échantillon.

Un échantillon d'au moins 1 litre est acidifié à un pH de 2 ou moins à l'aide d'acide chlorhydrique dilué. Une quantité de 5 ml devrait suffire. On transfère ensuite l'échantillon dans une ampoule à extraction où l'on verse également 30 ml de Fréon 113 (trichloro-1,1,2 trifluoro-1,2,2 éthane), avec lequel on a d'abord rincé le récipient qui contenait l'échantillon. La couche de solvant est recueillie dans un ballon volumétrique de 100 ml. On procède à deux autres extractions à l'aide de 30 ml de Fréon chaque fois, et l'on additionne ces quantités au contenu du ballon. Si ce dernier contient moins de 100 ml, on ajoute le supplément de Fréon nécessaire.

L'échantillon est analysé par un spectrophotomètre à l'infrarouge mesurant les valeurs de 3200 à 2700 cm^{-1} et muni de cellules de silice d'un diamètre de 1 cm. La teneur de l'échantillon est établie au moyen d'une courbe d'étalonnage.

11.4 Identification du polluant présent dans l'eau (analyse qualitative)

On recueille un échantillon que l'on a extrait de la façon décrite en 11.3.1. L'échantillon est ensuite analysé dans un spectrophotomètre à l'infrarouge mesurant les valeurs de 3200 à 2700 cm^{-1} et muni de cellules de silice de 1 cm. La présence du cyclohexane est détectée à l'aide de ses bandes caractéristiques en infrarouge.

11.5 Dosage du polluant présent dans le sol (analyse quantitative)

11.5.1 Spectrophotométrie à l'infrarouge (AWWA, 1981). - Le procédé vaut pour les teneurs en cyclohexane comprises entre 40 et 400 ppm.

On prélève un échantillon de sol de 20 g, pesé avec précision, que l'on conserve dans un pot en verre et que l'on fait sécher en lui ajoutant du sulfate de magnésium. Le cyclohexane

est extrait à l'aide de Fréon 113, de la façon décrite en 11.3.1. L'échantillon est ensuite analysé dans un spectrophotomètre à l'infrarouge mesurant les valeurs de 3200 à 2700 cm^{-1} et muni de cellules de 1 cm à l'infrarouge rapproché. La teneur de l'échantillon est déterminée au moyen d'une courbe d'étalonnage.

11.6 Identification du polluant présent dans le sol (analyse qualitative)

L'échantillon est recueilli et extrait de la façon décrite en 11.5.1, puis analysé également de la façon et au moyen de l'équipement décrits en 11.5.1. Les bandes d'absorption caractéristiques indiquent la présence de cyclohexane (AWWA, 1981).

12 RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE

(Reproduction intégrale de l'édition anglaise)

12.1 Références

AAR 1981: BDM Corporation, The AAR Hazardous Materials Data Base, Prepared for the Association of American Railroads, Parts I and II, McLean, VA (May, 1981).

Amoore 1983: Amoore, J.E. and E. Hautala, "Odor as an Aid to Chemical Safety: Odor Thresholds Compared with Threshold Limit Values and Volatiles for 214 Industrial Chemicals in Air and Water Dilution", J. Applied Toxicology, Vol. 3, No. 6, pp. 272-290 (1983).

AWWA 1981: American Water Works Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 15th edition, American Public Health Association, Washington, DC, Method 503B (1981).

Blokker 1971: Blokker, P.C., Migration of Oil in Soil, Presented at International Conference "Antinquinamenta 71", Milan Fair of Anti-Pollution Equipment, Report No. 9/71, Milan, Italy (November, 1971).

Bretherick 1979: Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, second edition, Butterworths, London, England (1979).

CBG 1980: Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 9, Don Mills, Ontario (December, 1980).

CCD 1977: Hawley, G.G., The Condensed Chemical Dictionary, ninth edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1977).

CG-D-38-76: Bauer, W.H. et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-D-38-76 (August, 1975).

CHRIS 1974: U.S. Department of Transportation, CHRIS Hazard Assessment Handbook, U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-446-3 (April, 1974).

CHRIS 1978: U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, DC (1978).

Corpus 1984: Corpus Information Services Ltd., "Cyclohexane", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario (July 31, 1984).

CRC 1980: Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH (1980).

DCRG 1978: Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, MI (1978).

* Dillon 1982: M.M. Dillon Ltd., Survey of Countermeasures Systems for Hazardous Material Spills, Environment Canada, Ottawa, Canada (1982).

* Publié également en français.

Doc. TLV 1981: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, fourth edition, Cincinnati, OH (1981).

Dow PPS 1972: Dow Chemical Company, Dow Plastic Lined Piping Systems, Midland, MI, Brochure 178-102-72 (1972).

Drager 1979: Leichnitz, K. (ed.), "Air Investigations and Technical Gas Analysis with Drager Tubes", Detector Tube Handbook, fourth edition, Lubeck, Germany, p. 66 (May, 1979).

Du Pont 1984: Du Pont Canada Inc., private communication, Kingston, Ontario (1984).

EPA 600/2-77-227: Huibregtse, K.R. et al., Manual for the Control of Hazardous Material Spills - Volume One - Spill Assessment and Water Treatment Techniques, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 600/2-77-227 (November, 1977).

EPA 600/2-80-076: Hatayama, H.K., J.J. Chen, E.R. deVera, R.D. Stephens and D.L. Storm, A Method for Determining the Compatibility of Hazardous Wastes, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH (April, 1980).

EPA 670/2-75-042: Pilie, R.J. et al., Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 670/2-75-042 (June, 1975).

ERG 1980: U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, DC (1980).

FKC 1975: Lowenheim, F.A. and M.K. Moran, Faith, Keye's and Clark's Industrial Chemicals, Wiley-Interscience, New York, NY (1975).

Freeze and Cherry 1979: Freeze, R.A. and J.A. Cherry, Groundwater, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ (1979).

GE 1978: General Electric Company, Material Safety Data Sheets, "Cyclohexane", Material Safety Information Services, Schenectady, NY (September, 1978).

Hansch and Leo 1979: Hansch, C. and A. Leo, Substitute Constants for Correlation Analysis in Chemistry and Biology, John Wiley & Sons Inc., New York, NY (1979).

ISH 1977: Mellan, I., Industrial Solvents Handbook, Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ (1977).

Jorgensen 1979: Jorgensen, S.E. (ed.), Handbook of Environmental Data and Ecological Parameters, International Society for Ecological Modelling, Pergamon Press, Oxford, England, p. 287 (1979).

JSSV 1979: Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, NY (1979).

Kirk-Othmer 1980: Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, third edition, Vol. 12, John Wiley & Sons, New York, NY (1980).

Lange's Handbook 1979: Dean, J.A. (ed.), Lange's Handbook of Chemistry, 12th edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1979).

Little 1983: Little, A.D. (ed.), Relationship Between Organic Chemical Pollution of Fresh Water and Health, A.D. Little Inc., Cambridge, MA (1983).

Lossing 1976: Lossing, F.P. and J.L. Traeger, International Journal of Mass Spectrometry and Ion Physics, Vol. 19, p. 9 (1976).

Mattson 1976: Mattson, V.R., J.W. Arthur and C.T. Walbridge, Acute Toxicity of Selected Organic Compounds to Fathead Minnows, Environmental Research Laboratory, Duluth, MN, EPA 600/3-76-097 (1976).

MCA 1957: Manufacturing Chemists Association, Chemical Safety Data Sheet, "Cyclohexane", Washington, DC (1957).

Middlebrooks 1973: Middlebrooks, E.J., M.J. Garpor, R.D. Caspar, J.H. Reynolds and D.N. Procella, Effects of Temperature on the Toxicity to Aquatic Biota of Waste Discharge - A Compilation of the Literature, NTIS, PB-239 127 (October, 1973).

MWPP 1978: Rehau, Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec (1978).

NFPA 1978: National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, seventh edition, Boston, MA (1978).

NIOSH 1977: National Institute for Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, second edition, Vol. 2, S. 28, Cincinnati, OH (April, 1977).

NIOSH Guide 1978: U.S. Department of Health, Education and Welfare, Pocket Guide to Chemical Hazards, U.S. Department of Health, Education, and Welfare, and U.S. Department of Labor, Washington, DC (1978).

NIOSH/OSHA 1981: U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, NIOSH Publication No. 81-123 (1981).

OHM-TADS 1981: Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, DC (1981).

Patty 1981: Clayton, G.D. and F.E. Clayton (ed.), Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Vols. 2A, 2B, third revised edition, John Wiley and Sons Canada Limited, Toronto, Ontario (1981).

Perry 1973: Perry, R.H. and C.H. Chilton (ed.), Chemical Engineer's Handbook, fifth edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1973).

Pickering 1966: Pickering, O.H. and C. Henderson, "Acute Toxicity of Some Important Petrochemicals to Fish", J. Water Pollut. Control Fed., Vol. 38, No. 9, pp. 1419-1429 (1966).

PPH 1984: Gallant, R.W. and J.M. Railey, Physical Properties of Hydrocarbons, Vol. 2, Gulf Publishing Co., Houston, TX (1984).

Raj 1974: Raj, P.P.K. and A.S. Lakekar, Assessment Models in Support of Hazard Assessment Handbook, prepared for the Department of Transportation, U.S. Coast Guard, Washington, DC, p. 238 (January, 1974).

Rouse 1961: Rouse, H., Fluid Mechanics for Hydraulic Engineers, Dover Publications, Inc., New York, NY (1961).

* RTDCR 1974: Canadian Transport Commission, Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, published by Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario (1974).

RTECS 1979: Lewis, R.J. and R.L. Tatken, Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, OH (September, 1980).

Sax 1979: Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, fifth edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1979).

Streeter 1971: Streeter, V.L., Fluid Mechanics, fifth edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1971).

Sussex 1977: Pedley, J.B. and J. Rylance, Sussex-N.P.L. Computer Analysed Thermochemical Data: Organic and Organometallic Compounds, University of Sussex, Sussex, Brighton, England (1977).

TCM 1979: General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, IL (May, 1979).

* TDGC 1980: Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Canada (June, 1980).

TLV 1983: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV®s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983-84, Cincinnati, OH (1983).

Ullmann 1975: Ullmanns Encyklopaedie der technischen Chemie, Verlag Chemie, Weinheim (1975).

Verschueren 1984: Verschueren, K., Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1984).

Wilhoit 1971: Wilhoit, R.C. and B.J. Zwolinski, Handbook of Vapour Pressures and Heats of Vaporization of Hydrocarbons and Related Compounds, Thermodynamics Research Center, Texas A&M University, College Station, TX (1971).

WQC 1963: McKee, J.E. and H.W. Wolf, Water Quality Criteria, second edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board (1963).

WQCDB-1 1970: Water Quality Criteria Data Book: Organic Chemical Pollution of Freshwater, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, DC, Vol. I (1970).

WQCDB 1971: Water Quality Criteria Data Book, Vol. 3, Battelle Columbus Laboratories for U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC (1971).

* Publié également en français.

12.2 Bibliographie

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, fourth edition, Cincinnati, OH (1981).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV®s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983-84, Cincinnati, OH (1983).

American Water Works Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 15th edition, American Public Health Association, Washington, DC, Method 503B (1981).

Amoore, J.E. and E. Hautala, "Odor as an Aid to Chemical Safety: Odor Thresholds Compared with Threshold Limit Values and Volatiles for 214 Industrial Chemicals in Air and Water Dilution", J. Applied Toxicology, Vol. 3, No. 6, pp. 272-290 (1983).

Bauer, W.H. et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-D-38-76 (August, 1975).

BDM Corporation, The AAR Hazardous Materials Data Base, prepared for the Association of American Railroads, Parts I and II, McLean, VA (May, 1981).

Blokker, P.C., Migration of Oil in Soil, presented at International Conference "Antinquinamenta 71", Milan Fair of Anti-Pollution Equipment, Report No. 9/71, Milan, Italy (November, 1971).

Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, second edition, Butterworths, London, England (1979).

* Canadian Transport Commission, Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, published by Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario (1974).

Clayton, G.D. and F.E. Clayton (eds.), Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Vols. 2A, 2B, third revised edition, John Wiley and Sons Canada Limited, Toronto, Ontario (1981).

Corpus Information Services Ltd., "Cyclohexane", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario (July 31, 1984).

Dean, J.A. (ed.), Lange's Handbook of Chemistry, 12th edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1979).

* M.M. Dillon Ltd., Survey of Countermeasures Systems for Hazardous Material Spills, Environment Canada, Ottawa, Canada (1982).

Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, MI (1978).

Dow Chemical Company, Dow Plastic Lined Piping Systems, Midland, MI, Brochure 178-102-72 (1972).

---

* Publié également en français.

Du Pont Canada Inc., private communication, Kingston, Ontario (1984).

Freeze, R.A. and J.A. Cherry, Groundwater, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ (1979).

Gallant, R.W. and J.M. Railey, Physical Properties of Hydrocarbons, Vol. 2, Gulf Publishing Co., Houston, TX (1984).

General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, IL (May, 1979).

General Electric Company, Material Safety Data Sheets, "Cyclohexane", Material Safety Information Services, Schenectady, NY (September, 1978).

Hansch, C. and A. Leo, Substitute Constants for Correlation Analysis in Chemistry and Biology, John Wiley & Sons Inc., New York, NY (1979).

Hatayama, H.K., J.J., Chen, E.R., deVera, R.D. Stephens and D.L. Storm, A Method for Determining the Compatibility of Hazardous Wastes, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH (April, 1980).

Hawley, G.G., The Condensed Chemical Dictionary, ninth edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1977).

Huibregtse, K.R. et al., Manual for the Control of Hazardous Material Spills - Volume One - Spill Assessment and Water Treatment Techniques, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 600/2-77-227 (November, 1977).

Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, NY (1979).

Jorgensen, S.E. (ed.), Handbook of Environmental Data and Ecological Parameters, International Society for Ecological Modelling, Pergamon Press, Oxford, England, p. 287 (1979).

Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, third edition, Vol. 12, John Wiley & Sons, New York, NY (1980).

Leichnitz, K. (ed.), "Air Investigations and Technical Gas Analysis with Drager Tubes", Detector Tube Handbook, fourth edition, Lubeck, Germany, p. 66 (May, 1979).

Lewis, R.J. and R.L. Tatken, Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, OH (September, 1980).

Little, A.D. (ed.), Relationship Between Organic Chemical Pollution of Fresh Water and Health, A.D. Little Inc., Cambridge, MA (1983).

Lossing, F.P. and J.L. Traeger, International Journal of Mass Spectrometry and Ion Physics, Vol. 19, p. 9 (1976).

Lowenheim, F.A. and M.K. Moran, Faith, Keye's and Clark's Industrial Chemicals, Wiley-Interscience, New York, NY (1975).

Manufacturing Chemists Association, Chemical Safety Data Sheet, "Cyclohexane", Washington, DC (1957).

Mattson, V.R., J.W. Arthur and C.T. Walbridge, Acute Toxicity of Selected Organic Compounds to Fathead Minnows, Environmental Research Laboratory, Duluth, MN, EPA 600/3-76-097 (1976).

McKee, J.E. and H.W. Wolf, Water Quality Criteria, second edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board (1963).

Mellan, I., Industrial Solvents Handbook, Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ (1977).

Middlebrooks, E.J., M.J., Garpor, R.D., Caspar, J.H. Reynolds and D.N. Procella, Effects of Temperature on the Toxicity to Aquatic Biota of Waste Discharge - A Compilation of the Literature, NTIS PB-239 127 (October, 1973).

National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, Seventh edition, Boston, MA (1978).

National Institute for Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, second edition, Vol. 2, S. 28, Cincinnati, OH (April, 1977).

Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, DC (1981).

Pedley, J.B. and J. Rylance, Sussex-N.P.L. Computer Analysed Thermochemical Data: Organic and Organometallic Compounds, University of Sussex, Sussex, Brighton, England (1977).

Perry, R.H. and C.H. Chilton (ed.), Chemical Engineer's Handbook, fifth edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1973).

Pickering, O.H. and C. Henderson, "Acute Toxicity of Some Important Petrochemicals to Fish", J. Water Pollut. Control Fed., Vol. 38, No. 9, pp. 1419-1429 (1966).

Pilie, R.J. et al., Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 670/2-75-042 (June, 1975).

Raj, P.P.K. and A.S. Lakekar, Assessment Models in Support of Hazard Assessment Handbook, Prepared for the Department of Transportation, U.S. Coast Guard, Washington, DC, p. 238 (January, 1974).

Rehau, Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec (1978).

Rouse, H., Fluid Mechanics for Hydraulic Engineers, Dover Publications, Inc., New York, NY (1961).

Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, fifth edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1979).

Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Vol.64, No.9, Don Mills, Ontario (December, 1980).

Streeter, V.L., Fluid Mechanics, fifth edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1971).

* Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Canada (June, 1980).

Ullmanns Encyklopaedie der technischen Chemie, Verlag Chemie, Weinheim (1975).

U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, NIOSH Publication No. 81-123 (1981).

U.S. Department of Health, Education and Welfare, Pocket Guide to Chemical Hazards, U.S. Department of Health, Education, and Welfare, and U.S. Department of Labor, Washington, DC (1978).

U.S. Department of Transportation, CHRIS Hazard Assessment Handbook, U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-446-3 (April, 1974).

U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, DC (1980).

U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, DC (1978).

Verschueren, K., Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1984).

Water Quality Criteria Data Book, Vol. 3, Battelle Columbus Laboratories for U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC (1971).

Water Quality Criteria Data Book: Organic Chemical Pollution of Freshwater, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, DC, Vol. 1 (1970).

Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH (1980).

Wilhoit, R.C. and B.J. Zwolinski, Handbook of Vapour Pressures and Heats of Vaporization of Hydrocarbons and Related Compounds, Thermodynamics Research Center, Texas A&M University, College Station, TX (1971).

* Publié également en français.